

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

IMPACT DES PROTOCOLES DE MISE EN SERVICE DES RÉSEAUX D'EAU D'UN
GRAND BÂTIMENT SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

CATHERINE TAILLANDIER

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)
AOÛT 2017

© Catherine Taillandier, 2017.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

IMPACT DES PROTOCOLES DE MISE EN SERVICE DES RÉSEAUX D'EAU D'UN
GRAND BÂTIMENT SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

présenté par : TAILLANDIER Catherine

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. BARBEAU Benoit, Ph. D., président

Mme PRÉVOST Michèle, Ph. D., membre et directrice de recherche

Mme BOURDEAU Suzel, B. Ing., membre

DÉDICACE

«Success consists of going from failure to failure without loss of enthusiasm»

-Winston Churchill

REMERCIEMENTS

Je voudrais commencer par remercier ma directrice de recherche, Michèle Prévost. Un grand merci de m'avoir acceptée dans ton équipe si passionnée et dynamique et de m'avoir offert l'opportunité de travailler sur un sujet aussi intéressant. L'une des choses que j'ai le plus appréciée dans mon projet, c'était de voir tous les impacts positifs que nous avons eu.

Un merci spécial à Émilie Bédard pour tout ce que tu as fait pour moi, pour tout le temps passé à travailler sur ce projet, pour ta bonne humeur constante et ton positivisme. Cette maîtrise n'aurait pas été la même sans toi et je vais garder de très bon souvenir de nos rencontres.

Merci aussi à Benoît Barbeau pour m'avoir transmis sa passion contagieuse de la conception d'ouvrages de purification et du traitement de l'eau potable. J'espère que l'on aura l'opportunité de travailler ensemble dans le futur.

Merci à tout le personnel de la Chaire pour son professionnalisme et sa bonne humeur. Peu importe le moment, tout le monde est toujours prêt à s'entraider. L'ambiance est agréable et il y fait bon de travailler. Un merci particulier à Julie Philibert, Jacinthe Mailly, Yves Fontaines, Mélanie Rivard et Mireille Blais pour votre aide précieuse au laboratoire et sur le terrain. Nos campagnes d'échantillonnages étaient majeures et sans votre aide à tous, je n'aurais jamais pu y arriver. Merci à Laura Razafinjanahary pour avoir toujours réponse à mes questions et pour toujours te démenier pour les autres. Merci aux stagiaires avec qui j'ai eu la chance de travailler, Claire Blondel, Claire Wauquiez et Marie Wendy Andriantsarafara.

Merci à toute ma famille et plus particulièrement à mes parents pour m'avoir encouragé tout le long de ma maîtrise et tout le long de mes études qui finalement arrivent à la fin. Un très gros merci à mon amoureux, Simon Mailloux, qui m'a lui aussi encouragé sans relâche malgré mes quelques sautes d'humeur particulièrement durant la rédaction de ce mémoire.

Finalement, merci à tous mes amis, autant ceux de la Chaire que ceux de Poly et de Notre-Dame. Vous m'avez changé les idées lorsque nécessaire et nous avons passé de très beaux moments et je ne doute pas qu'il y en aura d'autres dans le futur. Merci à Évelyne pour m'avoir aidé entre autres lors de ma conférence. Merci à Julien et Laura, Karine, Delphine, les deux Laurence, Gabrielle et Marie.

RÉSUMÉ

Les longues périodes de stagnation présentes lors de la mise en service des réseaux d'eau d'un nouveau bâtiment peuvent engendrer une détérioration de la qualité d'eau. Une accumulation de contaminants et débris peut se produire pendant la période de construction des réseaux et peut accélérer la formation de biofilm pendant la période entre la mise en eau et la mise en service. La norme canadienne prescrit une purge ainsi qu'une désinfection au chlore lors de la mise en eau d'un nouveau bâtiment mais ne spécifie pas de vitesses ou de temps de rinçage ni de concentration de chlore. Lorsque cette purge n'est pas effectuée de façon efficace, plusieurs problèmes de qualité d'eau peuvent en découler. Les facteurs déjà problématiques dans les réseaux d'eau de grands bâtiments, tel que la stagnation et la température de l'eau, sont exacerbés lors de la mise en service du bâtiment.

L'étude complétée dans ce projet avait pour objectifs d'évaluer la qualité de l'eau dans les réseaux d'un centre hospitalier et d'étudier les paramètres qui l'influencent. Lors de la mise en service du nouveau bâtiment, l'efficacité du rinçage qui a été effectué a été remise en question étant donné les concentrations élevées de métaux, de turbidité et de bactéries cultivables qui ont été mesurées dans les réseaux d'eau froide et d'eau chaude. Aussi, un rinçage à haute vitesse et à l'eau chaude a été effectué afin d'éliminer les résidus de pâte à souder présents dans le réseau. Une désinfection choc au chlore a finalement été complétée avant l'arrivée des patients dans l'hôpital.

L'ensemble des mesures qui ont été prises ont permis d'atteindre une qualité d'eau potable acceptable pour l'arrivée des patients. Au niveau de l'approche de gestion pendant la période de mise en service, les résultats suggèrent que les rinçages hebdomadaires effectués dans deux des trois réseaux du nouvel édifice ont permis de mieux contrôler la croissance bactérienne et les paramètres physico-chimique après le début de l'utilisation. En parallèle, une procédure a pu être mise en place pour effectuer le retrait des filtres qui avaient été installés sur des douches suite à la détection de *Legionella pneumophila* dans l'eau chaude d'un hôpital existant. Ces filtres distaux avaient été installés comme mesure d'intervention rapide. Des mesures d'optimisation des températures et de l'hydraulique du réseau de l'hôpital ont permis une baisse importante des niveaux de contamination par *L. pneumophila*, rendant possible le retrait des filtres des douches. Deux procédures ont été testées puis celle qui a été retenue est la suivante : un rinçage à l'eau chaude (temp. $\geq 55^{\circ}\text{C}$) pendant 30 minutes combiné à un changement de la tuyauterie externe à

proximité du pommeau de douche et à l'installation d'un pommeau de douche neuf. Cette procédure a été sélectionnée entre autres à cause de sa facilité d'implantation. D'après les résultats obtenus lors de l'enlèvement des filtres, la contamination du réseau est faible depuis le changement de température mais la détection d'une faible concentration de *L. pneumophila* après 5 minutes de rinçage dans un des échantillons suggère une faible contamination résiduelle dans le réseau. Il est important de maintenir les températures élevées dans l'ensemble du réseau afin de maintenir le contrôle et d'éviter une croissance bactérienne.

Ainsi, il est primordial pour les gestionnaires de grands bâtiments de se doter d'un bon plan de mise en service des réseaux d'eau dès le départ afin d'éviter de multiples interventions correctives par la suite.

ABSTRACT

The extended periods of stagnation present during the start-up of the water system of a new building can lead to a deterioration of the water quality. An accumulation of contaminants and debris may occur during the period of the network construction and may accelerate the formation of biofilm during the period between impoundment and commissioning. The Canadian standard prescribes purging and chlorine disinfection when a new building is impounded but does not specify rinsing speeds or time and chlorine concentration. When this purging is not carried out effectively, several water quality problems may result. Factors that are already problematic in large building water systems, such as stagnation and water temperature, are exacerbated when the building is commissioned.

The objective of this study was to evaluate the quality of water in a hospital's network and to study the parameters that influence it. When the new building was commissioned, the rinsing efficiency was questioned due to the high concentrations of metals, turbidity and cultivable bacteria that were measured both in the hot and cold water systems. Also, a high-speed, hot-water rinse was carried out to remove flux residues present in the network. Chlorine shock disinfection was finally completed before patients arrived in the hospital.

All the measures that have been taken have made it possible to achieve an acceptable drinking water quality for the arrival of the patients. At the management approach level during the commissioning period, the results suggest that the weekly rinses performed in two of the three networks of the new building allowed better control of bacterial growth and physicochemical parameters after the beginning of use. In parallel, a procedure could be implemented to remove the filters that had been installed on showers following the detection of *Legionella pneumophila* in the hot water plumbing network of an existing hospital. These distal filters had been installed to ensure patient safety. Measurements to optimize the temperature and hydraulics of the hospital network have led to a significant reduction in levels of contamination by *L. pneumophila*, making it possible to remove the filters from the showers. Two different procedures were tested. The followed was kept: a hot water rinse (temp $\geq 55^{\circ}\text{C}$) for 30 minutes combined with a change of the external piping near the shower head and the installation of a new shower head. This procedure was implemented because of its ease of implementation. Based on the results of the filter removal, network contamination is low since the temperature change, but detection of a low concentration

of *L. pneumophila* after 5 minutes of rinsing in one of the samples suggests a low residual contamination in the network. It is important to maintain elevated temperatures throughout the network to maintain control and avoid bacterial growth.

It is therefore essential for large building managers to have a good plan for putting hot and cold water systems into operation from the beginning to avoid multiple corrective interventions thereafter.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIÈRES	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
LISTE DES FIGURES.....	XIII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XV
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	5
2.1 Problématique engendrée par la présence de bactéries opportunistes dans les réseaux d'eau des grands bâtiments	5
2.1.1 Legionella pneumophila.....	5
2.1.2 Pseudomonas aeruginosa.....	7
2.2 Facteurs influençant la qualité microbiologique de l'eau dans les réseaux d'eau des grands bâtiments.....	8
2.2.1 Impact de la température de l'eau	8
2.2.2 Influence du type de points d'utilisation	9
2.2.3 Influence des matériaux sur la croissance bactérienne.....	10
2.3 Problématiques liées à la mise en service du réseau d'eau d'un grand bâtiment.....	11
2.3.1 Établissement du plan de suivi	12
2.3.2 Procédure de rinçage haut débit et de désinfection lors de la mise en eau initiale des réseaux d'eau froide et chaude	13

2.3.3	Procédure de rinçage et de désinfection lors de la période d'inutilisation des réseaux d'eau froide et d'eau chaude	14
2.3.4	Choix de la pâte à souder	15
2.3.5	Problèmes liés aux métaux	15
2.3.6	Paramètres à suivre.....	16
CHAPITRE 3	DÉMARCHE DU PROJET DE RECHERCHE	17
3.1	Mise en service d'un nouveau bâtiment.....	17
3.1.1	Campagnes d'échantillonnages d'août à décembre 2016	17
3.1.2	Début de l'occupation du nouveau bâtiment et désinfection thermique complémentaire	18
3.2	Procédure d'enlèvement de filtre Pall	18
3.2.1	Évaluer deux méthodes différentes pour nettoyer les douches après l'enlèvement des filtres	19
3.2.2	Définition du protocole pour l'application de la procédure de nettoyage.....	19
CHAPITRE 4	MÉTHODOLOGIE.....	20
4.1	Mise en service du nouveau bâtiment	20
4.1.1	Méthode d'échantillonnage du nouveau bâtiment	20
4.2	Évaluation de l'efficacité de la procédure de nettoyage des douches après enlèvement des filtres distaux.....	21
4.3	Méthodes analytiques	22
4.3.1	Analyses physico-chimiques	22
4.3.2	Analyses microbiologiques	23
4.3.3	Analyse statistique MarSpline.....	25
CHAPITRE 5	MISE EN SERVICE DU NOUVEL HÔPITAL.....	26
5.1	Chronologie des échantillonnages et des interventions.....	26

5.2	Sélection des points	27
5.3	Échantillonnage suivant le rinçage effectué par l'entrepreneur	30
5.4	Évaluation de l'impact des différentes approches de gestion durant mise en service....	34
CHAPITRE 6 PROCÉDURE D'ENLÈVEMENT DE FILTRES DISTAUX		44
6.1	Caractérisation des douches	44
6.2	Évaluation de l'efficacité de 2 procédures de nettoyage après enlèvement des filtres distaux	45
6.3	Mise en place de la procédure de nettoyage après enlèvement des filtres distaux.....	48
CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		52
BIBLIOGRAPHIE		56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5-1 : Caractéristiques des points échantillonnés au mois d'août 2016.....	29
Tableau 5-2 : Présentation des points échantillonnés dans le nouveau bâtiment (HP, BP, CR).....	30
Tableau 5-3 : Résultats physico-chimiques et microbiologiques du 22 août 2016.....	31
Tableau 5-4 : Moyenne et écart-type obtenus lors des échantillonnages de l'entrée d'eau de septembre 2016 à janvier 2017.....	35
Tableau 5-5 : Résultats d'une régression adaptative à plusieurs variables (Réseau principal : réseau HP, BP, CR, Type robinet : manuel ou à pédale, Type d'échantillon : 1 ^{er} jet ou rincé, Type d'eau : eau froide ou eau chaude, Interventions : conditions initiales du réseau, réseau rincé à l'eau chaude, réseau désinfecté au chlore ou réseau en utilisation)	43
Tableau 6-1 : Valeur moyenne telles que mesurées pour les six douches échantillonnées	45
Tableau 6-2 : Résumé des paramètres mesurés pour l'évaluation de la procédure d'enlèvement des filtres Pall	46

LISTE DES FIGURES

Figure 5-1 Ligne du temps des interventions sur le réseau et des échantillonnages	27
Figure 5-2 : Variation des BHA en fonction du type d'échantillon (A : 1 ^{er} jet, B : 2 mn d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau	36
Figure 5-3 : Variation du compte de particules en fonction du type d'échantillon (A : 1 ^{er} jet, B : 2 min d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau	38
Figure 5-4 : Variation de la turbidité en fonction du type d'échantillon (A : 1 ^{er} jet, B : 2 min d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau	38
Figure 5-5 : Variation de la concentration de cuivre en fonction du type d'échantillon (A : 1 ^{er} jet, B : 2 mn d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau	39
Figure 5-6 : Variation de la concentration de zinc en fonction du type d'échantillon (A : 1 ^{er} jet, B : 2 mn d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau	40
Figure 5-7 : Variation de la concentration de plomb en fonction des différents types d'eau (eau froide ou eau chaude), du type d'échantillon (1 ^{er} jet ou rincé) et du type de robinet (poste de lavage de main (PLM) ou manuel).....	41
Figure 6-1 : Douche régulière (a) et douche téléphone (b) (A : Valve de mélange B : Valve pour le pommeau supérieur C : Valve pour pommeau inférieur D : Tuyauterie interne)	44
Figure 6-2 : Compte de BHA et de bactéries viables en fonction du temps pour les deux douches échantillonnées	47
Figure 6-3 : Variation de la turbidité en fonction des échantillons qui ont été prélevés (Les extrémités des moustaches présentent les valeurs maximales et minimales mesurées. Les extrémités des boîtes présentent les 25 ^e et 75 ^e percentile et la ligne noire dans les boîtes présente la médiane des données)	49
Figure 6-4 : Variation des BHA en fonction des échantillons qui ont été prélevés	50
Figure 6-5 : Compte de bactéries totales et viables en fonction des volumes prélevés sur une échelle logarithmique	50

Figure 6-6 : Variation de la quantité de *L. pneumophila* (UG/L) mesuré aux douches lors de la procédure d'enlèvement des filtres (Les extrémités des moustaches présentent les valeurs maximales et minimales mesurées. Les extrémités des boîtes présentent les 25^e et 75^e percentile et la ligne noire dans les boîtes présente la médiane des données.....51

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

La liste des sigles et abréviations présente, dans l'ordre alphabétique, les sigles et abréviations utilisés dans le mémoire ou la thèse ainsi que leur signification.

BHA	Bactérie hétérotrophe aérobies
CEAEQ	Centre d'Expertise en Analyse Environnemental du Québec
CHSLD	Centre d'hébergement de soins de longue durée
COT	Carbone organique total
<i>Lp</i>	<i>Legionella pneumophila</i>
mg/L	Milligramme par litre
PLM	Poste de lavage de main
qPCR	quantitative Polymerase Chain Reaction
RBQ	Régie du Bâtiment du Québec
UFC	Unité formatrice de colonie
UTN	Unité de turbidité néphélométrique
VNC	Viable non cultivable

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

MISE EN CONTEXTE

Assurer la qualité de l'eau potable dans les réseaux d'eau des grands bâtiments peut être plus compliqué qu'il n'y paraît. En effet, il a été démontré à plusieurs reprises que plusieurs facteurs peuvent influencer la qualité de l'eau dans les grands bâtiments tel que la température, les travaux, la stagnation, le type d'équipements installés et la mise en service d'un nouveau bâtiment (Van der Mee-Marquet, Bloc, Briand, Besnier, & Quentin, 2005; Wisplinghoff et al., 2004; World Health Organization (WHO) & International Water Association (IWA) Publishing, 2004). Le type de matériau utilisé pour les conduites et les connexions des réseaux d'eau peuvent aussi avoir un impact sur la qualité microbiologique de l'eau (Clark et al., 2013; Lehtola et al., 2004; Niquette, Servais, & Savoir, 2000). De plus, assurer la qualité de l'eau est d'autant plus important lorsqu'il s'agit d'un hôpital où se trouvent des patients vulnérables, que ce soit lors de la mise en service d'un nouvel hôpital ou dans un hôpital construit depuis plusieurs années. La qualité de l'eau doit aussi être maintenue dans le temps et lorsque surviennent des épisodes de contamination, des mesures doivent être prises.

Des niveaux élevés de contamination par la bactérie *Legionella pneumophila* ont été mesurés dans les réseaux d'eau de plusieurs hôpitaux (Boppe et al., 2016; Lin, Vidic, Stout, & Yu, 1998; Stout, Lin, Goetz, & Muder, 1998). Aussi, plusieurs éclosions de *P. aeruginosa* et *L. pneumophila* ont été documentées, spécifiquement suite au début d'utilisation d'un nouveau réseau ou à des rénovations dans un secteur du bâtiment (E. R. M. Sydnor & Perl, 2011; Van der Mee-Marquet et al., 2005; Walker et al., 2014). Les normes Canadiennes (Canadian Association Association (CSA), 2015) recommandent une purge lors de la mise en eau d'un nouveau bâtiment ainsi qu'une désinfection au chlore mais ne spécifient pas de vitesses ou de temps du rinçage ni de concentration de chlore. Il n'y a pas non plus de méthode proposée afin de vérifier que la purge et la désinfection ont été efficaces dans l'ensemble du bâtiment.

Les facteurs déjà problématiques dans les réseaux d'eau de grands bâtiments, tel que la stagnation et la température de l'eau, sont exacerbés lors de la mise en service du bâtiment puisque la construction s'étire sur plusieurs mois, ainsi que la période entre la mise en eau du réseau et le début de l'occupation (Williams, Armbruster, & Arduino, 2013). Lors de la mise en eau d'un nouveau bâtiment, la présence de concentrations importantes de métaux dans l'eau est un enjeu

non négligeable. Par exemple, les concentrations de cuivre dissous les plus élevées se mesurent dans la nouvelle plomberie qui n'a pas encore été passivées (Schock, Lytle, & Clement, 1995). Il est important pour les centres hospitaliers de développer des méthodes afin de s'assurer de la qualité de l'eau dans leurs réseaux autant lors de la mise en service d'un nouveau bâtiment que dans un réseau plus âgé. L'une comme l'autre peuvent entraîner une dégradation de la qualité de l'eau potable pour différentes raisons et cette étude a pour but d'aider les gestionnaires de grands bâtiments à assurer la qualité d'eau dans leurs réseaux de plomberie.

La période d'inutilisation d'un réseau d'eau lors de la mise en service d'un nouvel hôpital s'étire sur plusieurs mois durant lesquels l'eau est stagnante dans le réseau de plomberie. L'expérience internationale a démontré qu'un risque élevé de formation de biofilm et de croissance de microorganismes pathogènes dans les réseaux d'eau est associé à cette période de stagnation prolongée. Il existe peu de normes et recommandations au Québec par rapport aux étapes à suivre afin de s'assurer de la qualité de l'eau dans le réseau. Les normes Z317.1 et Z8000.1 (Canadian Association Association (CSA), 2015) recommandent une purge du réseau mais ne spécifient pas les paramètres de purge. Dans ce contexte, les réseaux d'eau d'un centre hospitalier en construction ont été étudiés afin d'évaluer l'impact des rinçages périodiques durant la période d'inutilisation du bâtiment. Le bâtiment de 12 étages (D à A, 1 à 8) possède trois réseaux de distribution d'eau : HP, BP et CR. L'impact des rinçages a pu être évalué en comparant les réseaux HP et BP, qui étaient rincés à chaque semaine à partir de la prise en charge du bâtiment par l'équipe de l'hôpital, avec le réseau du centre de recherche qui n'a pas été rincé périodiquement. De plus, une procédure de rinçage et de désinfection des réseaux d'eau froide et d'eau chaude a dû être définie, tel que recommandé par la norme canadienne Z8001-13.

Il arrive toutefois que les réseaux d'eau des hôpitaux soient contaminés par des bactéries opportunistes responsables d'infections nosocomiales, telles que *Pseudomonas aeruginosa* et *Legionella pneumophila*. Dans de tels cas, l'installation de filtres distaux aux points d'utilisation d'eau comme les douches et les robinets permet de limiter les risques d'exposition des patients à ces bactéries en prévenant la dissémination d'aérosols. Les filtres distaux sont souvent utilisés comme une mesure d'urgence temporaire alors que d'autres mesures de contrôle des bactéries dans le réseau d'eau sont mises en place. En effet, les coûts engendrés par l'installation des filtres et la fréquence de changement sont élevés. De plus, l'utilisation de filtres sur une période prolongée

pourrait entraîner la formation de biofilm et l'accumulation de bactéries derrière le filtre donc une procédure de nettoyage de la conduite et du pommeau de douche devait être mise en place.

Dans ce contexte, une étude a été effectuée dans un centre hospitalier où des concentrations de légionelle élevées avaient été détectées (Boppe et al., 2016). En effet, des échantillonnages effectués sur plusieurs étages et différentes ailes avaient révélés que plus de 90 % des points échantillonnés étaient positifs pour *L. pneumophila* (*Lp*) et la contamination moyenne des points positifs était de plus de 10 000 UFC/L. Des filtres distaux ont été installés sur les pommeaux de douches pendant la mise en place des mesures de contrôle, rapportées dans l'article intitulé « Investigative approach to improve hot water system hydraulics through temperature monitoring to reduce building environmental quality hazard associated to Legionella » publié dans la revue Building and Environment en 2016 et dont je suis co-auteure. Ces mesures correctives ont entraîné une diminution importante de la contamination en légionelles dans le réseau, permettant le retrait des filtres distaux. Une procédure de nettoyage efficace et sécuritaire lors de l'enlèvement des filtres distaux a dû être testée et mise en place afin de minimiser les risques d'exposition aux bactéries opportunistes.

OBJECTIFS

L'étude complétée dans ce projet a pour objectif général d'évaluer la qualité de l'eau dans les réseaux d'un centre hospitalier et d'étudier les paramètres qui influencent la qualité de l'eau. Les objectifs spécifiques du projet sont les suivants :

1. Comparer différentes approches de gestion durant la mise en service
2. Évaluer les facteurs qui influencent la qualité d'eau pendant la mise en service
3. Suivre l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps pendant la mise en service et au début de l'occupation du bâtiment
4. Évaluer deux méthodes différentes pour le nettoyage des douches après l'enlèvement des filtres
5. Établir une procédure d'enlèvement des filtres sur les douches et faire un suivi de la qualité de l'eau par la suite.

PLAN DU MÉMOIRE

Ce mémoire comporte six chapitres distincts. Le premier chapitre présente une revue de la littérature concernant les différents paramètres sur lesquels repose l'étude effectuée dans ce mémoire. Il est question de la problématique engendrée par la présence de bactéries opportunistes dans les réseaux d'eau des grands bâtiments, des facteurs influençant la qualité microbiologique de l'eau dans les réseaux des grands bâtiments et finalement des problématiques liées à la mise en service du réseau d'eau d'un grand bâtiment. Le second chapitre présente la démarche suivie lors de ce projet de recherche afin d'atteindre les objectifs fixés. Le troisième chapitre présente la méthodologie qui a été utilisée pour l'ensemble de ce projet de recherche. Le quatrième chapitre présente la mise en service des réseaux d'eau d'un nouvel hôpital. Il s'agit du chapitre principal de ce mémoire. Le cinquième chapitre présente l'essai qui a été effectué dans les douches d'un hôpital existant. Le sixième chapitre de ce mémoire présente les conclusions et recommandations générales tirées des travaux effectués.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Dans ce chapitre, il est question tout d'abord des problématiques engendrées par la présence de bactéries opportunistes dans les réseaux d'eau des grands bâtiments. Ensuite, les facteurs influençant la qualité microbiologique de l'eau dans les réseaux d'eau des grands bâtiments sont abordés et finalement les problématiques et réglementations existantes pour la mise en service des réseaux d'eau sont présentées.

2.1 Problématique engendrée par la présence de bactéries opportunistes dans les réseaux d'eau des grands bâtiments

Plusieurs espèces de bactéries pathogènes opportunistes peuvent être présentes dans les réseaux d'eau de grands bâtiments. En effet, Rusin, Rose, Haas, and Gerba (1997) présentent entre autres les bactéries suivantes : *Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Mycobacterium avium*, *Acinetobacter* et *Aeromonas*. Il a été démontré que les bactéries *Legionella pneumophila* ainsi que *Pseudomonas aeruginosa* ont toutes deux été isolées dans les réseaux d'eau de grands bâtiments tels que des hôpitaux (Lin et al., 1998; Wisplinghoff et al., 2004). Plus spécifiquement, plusieurs éclosions de *P. aeruginosa* et *L. pneumophila* ont été documentées suite au début d'utilisation d'un nouveau réseau ou à des rénovations dans un secteur du bâtiment (E. R. M. Sydnor & Perl, 2011; Van der Mee-Marquet et al., 2005; Walker et al., 2014). Ces deux bactéries sont ciblées plus spécifiquement parce que les Légionelles sont la principale cause de maladies hydriques en Amérique du Nord (Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2011) et *Pseudomonas aeruginosa* est une des plus importante cause d'infections nosocomiales associées à l'eau (Weinstein, Gaynes, Edwards, & System, 2005).

2.1.1 *Legionella pneumophila*

L. pneumophila est un bacille Gram négatif du genre *Legionella*. À ce jour, plus de 48 espèces de bactéries *Legionella* ont été répertoriées et elles comprennent 70 sérogroupes différents. Il y a 15 sérogroupes possible dans le gène *L. pneumophila* (B.S. Fields, Benson, & Besser, 2002). Cette bactérie peut causer deux types d'infections : la fièvre de Pontiac et la légionellose. La fièvre de Pontiac est une forme bénigne de la légionellose et se caractérise par des symptômes qui ressemblent à ceux de la grippe. La légionellose, aussi nommée la maladie du légionnaire, cause

une infection pulmonaire grave qui peut entraîner la mort, particulièrement pour les personnes âgées ou des patients immunodéprimés. La détection et le contrôle de *L. pneumophila* sont importants dans les réseaux d'eau des bâtiments, particulièrement des hôpitaux et des CHSLD (Gouvernement du Québec, 2010). L'infection par la bactérie se produit lorsqu'un humain inhale de fines gouttelettes d'eau dans lesquelles se trouvent la bactérie *L. pneumophila* (B.S. Fields et al., 2002).

L. pneumophila se développe à des températures entre 25 et 42°C avec une température optimale de 35°C (Katz & Hammel, 1987). Lorsque *L. pneumophila* se retrouve dans un environnement non-favorable ou pauvre en nutriment, elle entre dans un état viable mais non cultivable (VBNC) ce qui lui permet de mieux résister à ces conditions. Lorsque l'environnement redevient favorable, elle peut retrouver sa cultivabilité en présence d'amibes (Steinert, Emody, Amann, & Hacker, 1997). *L. pneumophila* a été isolée dans les réseaux d'eau chaude des grands bâtiments à plusieurs reprises (Bédard, Boppe, et al., 2016; Lin et al., 1998; Mermel, Josephson, Giorgio, Dempsey, & Parenteau, 1995). Elle peut aussi se retrouver dans les tours de refroidissement (Garbe et al., 1985; Nhu Nguyen et al., 2006) et dans les spas (Brousseau et al., 2012). Lorsque *Legionella* se trouve dans l'eau ou dans des sols humides, elle survie et se multiplie en parasitant des protozoaires, plus particulièrement les amibes. Elle peut aussi se multiplier dans les cellules phagocytaires des humains et causer la légionellose (Barry S. Fields, 1996).

La croissance de biofilm dans les réseaux d'eau des grands bâtiment est fréquemment détectée et *L. pneumophila* peut se retrouver dans le biofilm (Murga et al., 2001). Il a été suggéré que les légionelles peuvent avoir une meilleure résistance aux agents de stress de l'environnement tel que des hausses de température lorsqu'elles se trouvent dans le biofilm (Bédard, Taillandier, Mendis, Faucher, & Prévost, 2016; Rogers, Dowsett, Dennis, Lee, & Keevil, 1994). D'après B.S. Fields et al. (2002), le contrôle du biofilm dans les réseaux d'eau des grands bâtiments dans lesquels *L. pneumophila* est présente est la méthode la plus efficace pour éviter les cas de légionellose bien que ces bactéries soient très résistantes. À cet effet, l'institut national de santé publique du Québec (INSPQ) (2016) a rédigé un document pour aider les gestionnaires des centres hospitaliers du Québec à gérer les risques associés à *Legionella* spp. dans leurs réseaux.

Au niveau de la réglementation, le Canada n'a pas de seuil d'alerte ou d'action en fonction de la concentration de légionelle mesuré dans l'eau des hôpitaux, mais des normes et des

recommandations existent à l'international (Bédard, Fey, et al., 2015). En Angleterre, des normes spécifiques aux centres hospitaliers sont en place. Dès que la concentration moyenne dépasse 1 000 UFC/L, des mesures de contrôle doivent être mise en place et une désinfection doit être effectuée (Health Safety and Executive (HSE), 2013). En utilisant ces normes comme valeur de référence, le taux de contamination mesuré dans les douches était supérieur et des mesures de contrôle du risque s'imposaient.

2.1.2 *Pseudomonas aeruginosa*

La bactérie *Pseudomonas aeruginosa* est un bacille Gram négatif muni d'un seul flagelle (Leclerc, Schwartzbrod, & Dei-Cas, 2002). Elle peut causer plusieurs types d'infections. La bactérie peut, entre autres, infecter les plaies de brûlures graves et entraîner une bactériémie et elle peut causer des infections pulmonaires chroniques. Les patients immunodéprimés sont principalement à risques (Kerr & Snelling, 2009).

La plage de températures optimales à la croissance de *P. aeruginosa* est entre 10 et 42°C avec une température optimale de 37°C (Brown, 1957), ce qui est similaire aux températures de croissance de *L. pneumophila*. Son pH optimal de croissance est de 7.2 et il a été démontré que *P. aeruginosa* survit mieux à des pH plus faibles tels que 5.5-6.5 qu'à des pH plus élevés de l'ordre de 7.5-8.5 (Beyenal, Chen, & Lewandowski, 2003). *P. aeruginosa* a été fréquemment isolé dans les réseaux d'eau des hôpitaux ainsi que dans des spas (Bédard, Prévost, & Déziel, 2016; Brousseau et al., 2012; Wang, Edwards, Falkinham III, & Pruden, 2012). Deux études ont démontré que bien que les robinets échantillonnés étaient positifs à la présence de *Pseudomonas aeruginosa* (15 % et 58 %), les conduites d'alimentations principales étaient toutes négatives, suggérant que la contamination de *P. aeruginosa* est au point d'utilisation plutôt que dans le réseau (Ferroni et al., 1998; Reuter, Sigge, Wiedeck, & Trautmann, 2002). Les drains peuvent aussi être une source d'infection de *P. aeruginosa* (Breathnach, Cubbon, Karunaharan, Pope, & Planche, 2012; Hota et al., 2009). Breathnach et al. (2012) ont démontré que la source d'infection de patients dans deux hôpitaux différents, par une souche de *P. aeruginosa* résistante aux antibiotiques, provenait dans un premier cas du drain défectueux d'une douche et dans le second cas d'un retour d'eau usé d'une toilette. Ainsi, plusieurs auteurs proposent que la contamination des robinets échantillonnés serait causée par les éclaboussures du drain et non par une contamination dans le réseau d'eau, comme

ce serait le cas pour *L. pneumophila* (Cholley, Thouverez, Floret, Bertrand, & Talon, 2008; Kirschke et al., 2003; Trautmann, Lepper, & Haller, 2005).

P. aeruginosa a la capacité de coloniser de nouvelles surfaces où il n'y a pas encore de biofilm ou encore d'intégrer un biofilm existant (Revetta et al., 2013). Le biofilm permet à la bactérie de mieux résister aux stress de son environnement ainsi qu'au manque de nutriments et il est donc avantageux pour *P. aeruginosa* de se trouver dans le biofilm (Wingender & Flemming, 2011).

2.2 Facteurs influençant la qualité microbiologique de l'eau dans les réseaux d'eau des grands bâtiments

Les réseaux de plomberie de grands bâtiments peuvent être la source de nombreuses infections lorsqu'ils n'ont pas été conçus de façon optimale, lorsqu'ils sont mal entretenus ou encore que des modifications sur le réseau ont été effectuées et que ces modifications ont perturbé l'hydraulique du réseau, auquel cas un rebalancement hydraulique peut s'avérer nécessaire. La fréquence d'utilisation réduite de certains points peut aussi entraîner une détérioration de la qualité de l'eau (World Health Organization (WHO), 2004). En soi, un système de distribution d'eau potable d'un grand bâtiment comporte plusieurs caractéristiques qui sont favorables à la croissance bactérienne soit des températures dans la plage de croissance de plusieurs types de bactéries, de l'eau stagnante et un ratio surface/volume élevé (Geldreich, 1996).

2.2.1 Impact de la température de l'eau

La température est un paramètre important afin de suivre la qualité de l'eau d'un réseau. Plusieurs normes, réglementations et guides permettent d'identifier les conditions d'opération optimales ainsi que la fréquence de suivi à effectuer afin de prévenir et contrôler la prolifération de bactéries telles que *L. pneumophila* (Bédard, 2015). Dans les systèmes d'eau chaude des grands bâtiments, il est possible d'atteindre des températures aussi basses que 25°C (Boppe et al., 2016) et des températures maximales autour de 60°C puisque l'eau à la sortie du chauffe-eau doit être au minimum de 60°C (Régie du bâtiment du Québec (RBQ), 2014). Cette réglementation est en place afin d'éviter la prolifération de légionelles puisque la température optimale de croissance de cette bactérie est entre 25 et 42°C (Yee & Wadowsky, 1982). La température mesurée dans la boucle de recirculation devrait être $\geq 55^{\circ}\text{C}$ (Health Safety and Executive (HSE), 2013). De plus, une

température minimale de 55°C devrait être atteinte à l'ensemble des robinets après une à deux minutes d'écoulement (Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), 2012; Health Safety and Executive (HSE), 2013; World Health Organization (WHO), 2011b) et la température maximale de l'eau froide devrait être de 20°C ou moins. Le suivi des températures dans le réseau d'eau chaude d'un grand bâtiment permet d'évaluer le risque associé à *L. pneumophila* (Bédard, Fey, et al., 2015). D'après cet article, les systèmes qui n'arrivent pas à maintenir des températures élevées dans le réseau jusqu'aux points d'utilisation, malgré une température supérieure à 60°C à la sortie du chauffe-eau, sont considérés comme étant à risque de contamination et hydrauliquement mal balancés. Cela peut entraîner de la stagnation dans certains secteurs hydrauliquement défavorisés du réseau, ce qui cause une baisse de température dans ce secteur et favorise la croissance du biofilm et la présence de *L. pneumophila*. Ciesielski, Blaser, and Wang (1984) ont démontré il y a déjà plus de 20 ans que les périodes de stagnation étaient favorables au développement des légionelles. Ils ont aussi démontré qu'il était possible d'éliminer la présence des légionelles dans les chauffe-eau en installant une boucle de recirculation et donc en éliminant les périodes de stagnation et en conservant les températures élevées. Ainsi, le suivi de la température est un bon outil pour localiser les zones à risques dans un grand bâtiment (Bédard, Fey, et al., 2015).

2.2.2 Influence du type de points d'utilisation

L'installation de robinets électroniques ou à pédales est fréquente dans les hôpitaux pour éviter que les employés et patients ne touchent les appareils et ainsi, diminuer les risques d'infections. Par contre, aucune étude ne démontre les avantages de ce type de robinets pour la prévention des infections. Au contraire, Hargreaves et al. (2001) ont présenté, dès 2001, un cas où des robinets électroniques sans contrôle de température par l'utilisateur présentaient des concentrations de bactéries hétérotrophes aérobies (BHA) nettement supérieures à des robinets conventionnels ou à des robinets électroniques avec contrôle de température. Cette même étude a démontré une différence de contamination de 44 % des points entre deux types de robinets électroniques différents (52% de contamination vs 8% de contamination). Plusieurs études ont aussi démontré la colonisation de robinets par différentes bactéries opportunistes soit *Burkholderia cepacia*, *Legionella pneumophila*, *Mycobacterium mucogenicum* et *Pseudomonas aeruginosa* (Kotsanas, Brett, Kidd, Stuart, & Korman, 2008; Livni et al., 2008; E. R. Sydnor et al., 2012). Plusieurs raisons pourraient expliquer la

contamination des robinets électroniques. Tout d'abord, il y a la complexité de leur conception où l'eau froide et l'eau chaude sont mélangées avec une température moyenne de 35°C. Le débit est souvent réduit (réduction de consommation d'eau) et l'eau stagne dans des matériaux tels que du PVC et du caoutchouc. Ces facteurs présentent des conditions idéales pour la croissance du biofilm (Chaberny & Gastmeier, 2004; Halabi, Wiesholzer-Pittl, Schöberl, & Mittermayer, 2001; Merrer et al., 2005). Les robinets à pédale présentent aussi des taux de positivité plus élevés, probablement en raison du plus grand volume de mélange que pour les robinets conventionnels (Charron, Bédard, Lalancette, Laferrière, & Prévost, 2015). En résumé, bien que la cause exacte d'une plus importante contamination pour certains types de robinets ne soit pas encore clairement établie, il est important de rester vigilant à cette problématique particulièrement dans les grands bâtiments où il y a des patients immunodéprimés.

2.2.3 Influence des matériaux sur la croissance bactérienne

Le type de matériau utilisé pour les conduites et les connexions des réseaux d'eau peuvent aussi avoir un impact sur la qualité microbiologique de l'eau (Clark et al., 2013; Lehtola et al., 2004; Niquette et al., 2000). De façon générale, ce sont des conduites en cuivre qui sont installées dans les systèmes d'eau froide et d'eau chaude des grands bâtiments, particulièrement des hôpitaux, puisqu'il a été démontré qu'il y avait moins de formation de biofilm et de colonisation des conduites en cuivre en comparaison avec des conduites en polybutylène ou en polyéthylène (J. Yu, Kim, & Lee, 2010). Aussi, une croissance plus élevée et plus rapide du biofilm a été observé sur du plastique par rapport à des surfaces métalliques (Lehtola et al. (2005); van der Kooij et al. (2005)). Ce dernier a aussi rapporté que le cuivre limitait la croissance bactérienne. Par contre, un autre article a observé une croissance sélective de *Legionella pneumophila* sur des conduites en cuivre comparativement au plastique bien qu'il y ait tout de même moins de bactéries au total sur du cuivre (Buse, Lu, Struewing, & Ashbolt, 2014; Giao, Wilks, & Keevil, 2015). Proctor et al. (2016) a démontré que le type de matériau utilisé dans les pommeaux de douche ou les robinets, en extrémités de réseau de plomberie, avait un impact sur la croissance bactérienne.

Pour ce qui est de la présence de *Pseudomonas aeruginosa*, une étude a observé que la bactérie n'était pas mesurée en culture dans le biofilm sur des conduites en cuivre (Critchley, Cromar, McClure, & Fallowfield, 2001) mais une étude de cas a rapporté une éclosion de *P. aeruginosa* dans un hôpital où il y a des conduites en cuivre (Bedard et al., 2015).

Parfois, un ionisateur cuivre-argent peut être utilisé dans les réseaux d'eau comme désinfectant pour contrôler les légionelles. Ainsi, plusieurs hôpitaux utilisent un ionisateur cuivre-argent afin de contrôler la présence de *L. pneumophila* dans le réseau mais des cas de légionellose ont tout de même été détectés chez des patients (Bédard, Boppe, et al., 2016; Demirjian et al., 2015). Par contre, des études ont aussi rapporté des cas où le traitement aux ions cuivre-argent fonctionnait bien (Rohr, Senger, Selenka, Turley, & Wilhelm, 1999; Stout et al., 1998). D'après des travaux de la Chaire Industrielle CRSNG en Eau Potable, les concentrations en cuivre étaient plus élevées dans des bâtiments où les conduites étaient en cuivre (>500 µg/L) par rapport à certains bâtiments utilisant un ionisateur cuivre-argent (Bédard, Boppe, et al., 2016). Plusieurs réglementations et normes existent pour la concentration de cuivre acceptable dans l'eau potable. La California Environmental Protection Agency, Pesticide and Environmental Toxicology Branch, and Office of Environmental Health Hazard Assessment (2008) recommande un maximum de 300 µg/L dans l'eau potable, Santé Canada (1999) recommande un maximum de 1 000 µg/L, United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2000) impose un maximum de 1 300 µg/L dans l'eau potable et finalement la World Health Organization (WHO) (2011a) recommande un maximum de 2 000 µg/L de cuivre dans l'eau. Des effets sur la santé tels que des vomissements, maux de ventre et nausée ont été observés lorsque la concentration de cuivre dans l'eau dépasse 4 000 µg/L (Olivares, Araya, Pizarro, & Uauy, 2001). D'après un essai complété par la Chaire, il a été démontré que bien que les concentrations en cuivre retrouvées dans les réseaux des grands bâtiments ne soient pas suffisantes pour inhiber complètement la croissance de *Legionella pneumophila*, le cuivre demeure de façon générale un matériau moins favorable au biofilm que le plastique (Bédard, Taillandier, et al., 2016). Aussi, de telles concentrations de cuivre sont suffisantes pour induire un état viable mais non cultivable chez la bactérie *P. aeruginosa* (Bédard, Charron, Lalancette, Déziel, & Prévost, 2014; Dwidjosiswojo et al., 2011).

2.3 Problématiques liées à la mise en service du réseau d'eau d'un grand bâtiment

Les facteurs déjà problématiques dans les réseaux d'eau de grands bâtiments, tel que la stagnation et la température de l'eau, sont exacerbés lors de la mise en service du bâtiment puisque la construction s'étire sur plusieurs mois, et la période entre la mise en eau du réseau et le début de l'occupation dure plusieurs mois (Williams et al., 2013). C'est pourquoi plusieurs, tel que

Geldreich (1996) ainsi que (Health and Safety Executive (HSE), 2013) recommandent des rinçages réguliers à chacun des points d'utilisation du réseau lors de la période d'inoccupation afin d'éviter une détérioration de la qualité de l'eau dans le temps.

Des recherches ont été effectuées afin d'évaluer spécifiquement l'impact de la construction d'un nouveau réseau de plomberie sur la qualité de l'eau lors du début de l'utilisation du bâtiment puisque des résidus chimiques, des débris tel que du cuivre et des résidus de pâte à souder peuvent se retrouver dans l'eau potable (Edwards, Parks, et al., 2011). Ce même document a aussi démontré que le type de matériaux utilisé lors de la construction, autant pour le tuyau en soi que pour les soudures, aura un impact sur la qualité de l'eau. Ainsi, d'après les études qui ont été effectuées, il faut porter une attention particulière à la qualité de l'eau lors de la mise en service d'un réseau.

2.3.1 Établissement du plan de suivi

L'établissement d'un plan de suivi est important afin d'assurer le suivi de la qualité de l'eau dans un réseau de plomberie. Les documents québécois ou canadiens ne définissent pas de plan de suivi de la qualité de l'eau lors de la période d'inutilisation du bâtiment. Par contre, la recommandation CSAZ317.13-12 mentionne la mise en place d'un système de suivi pour déceler la présence de *L. pneumophila* chez les patients lorsque le bâtiment est occupé. Tout d'abord, un document britannique (British Standards Institution (BSI), 2011) propose deux types d'échantillonnages différents : 1) des échantillonnages de routine qui permettent d'évaluer l'efficacité de la désinfection ou du régime thermique, la qualité et la stabilité de l'eau; 2) un échantillonnage qui permet d'évaluer des paramètres qui sont des indicateurs d'un changement de la qualité de l'eau comme les légionnelles, les bactéries hétérotrophes (BHA à 22°C et 37°C), les coliformes et *Pseudomonas aeruginosa*. La fréquence des échantillonnages n'est pas spécifiée. Le document du Department of Health (DH) and Estates and Facilities Division (2006) spécifique à la mise en service d'établissements de santé recommande d'effectuer des analyses de BHA à 37°C et de coliformes incluant *E. coli*. Il est aussi suggéré d'effectuer des rinçages réguliers du réseau avec une fréquence accrue en période de chaleur et de considérer l'ajout d'un désinfectant pour contrôler la formation de biofilm de façon plus efficace. En France, le document Castex and Houssin (2005) liste une série de paramètres à suivre lorsqu'un établissement de santé est utilisé de façon normale : BHA (22°C et 37°C), les coliformes totaux et *P. aeruginosa*. La fréquence n'est pas spécifiée mais il est recommandé d'effectuer le suivi au moins une fois par trimestre. Finalement, un document

australien spécifique à l'installation d'un nouveau système d'eau chaude recommande d'évaluer la présence de légionelles aux deux semaines pour 2 à 3 mois après l'installation (Government of South Australia et al., 2013). Il est aussi recommandé de faire un suivi des BHA.

2.3.2 Procédure de rinçage haut débit et de désinfection lors de la mise en eau initiale des réseaux d'eau froide et chaude

Les normes CSA Z317.1 et Z8000.1 (Canadian Association Association (CSA), 2015) recommandent une purge lors de la mise en eau d'un nouveau bâtiment mais ne spécifient pas de vitesses ou de temps du rinçage. Différentes études ont été consultées afin de formuler une recommandation aux gestionnaires du nouveau bâtiment.

Tout d'abord, Edwards, Parks, et al. (2011) recommandent une vitesse minimale de 0,91 m/s afin d'éliminer les débris et les résidus de flux utilisés lors de l'assemblage des conduites en cuivre. Il est important de connaître le type de flux qui a été utilisé lors de la construction car les flux à base de produits pétroliers sont difficiles à enlever et nécessitent un rinçage à l'eau chaude. Il faut donc s'assurer que les vitesses et les températures de rinçage des conduites permettront d'enlever les résidus de flux. Le flux doit être éliminé car sa présence dans les conduites entraîne des problèmes de corrosion accélérée du cuivre et une importante recroissance bactérienne (Edwards, Arnold, et al., 2011). La norme anglaise BSRIA (2012) présente de façon détaillée les vitesses de rinçage recommandées en fonction du diamètre de conduite. La vitesse de rinçage minimale est sélectionnée comme étant la plus grande valeur entre :

- 1) La vitesse associée au plus grand diamètre de conduite présent dans le réseau à purger
- 2) La vitesse de design plus 10%

La durée du rinçage sera déterminée à partir du moment où la vitesse de rinçage sélectionnée sera atteinte et jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit claire. Suivant la purge du réseau, une désinfection du système par surchloration est recommandée par les normes CSA Z317.1 et Z8000.1 (Canadian Association Association (CSA), 2015) mais les paramètres de cette désinfection ne sont pas définis. Le temps de contact requis avec le chlore va dépendre de la concentration utilisée, du pH de l'eau, de la température de l'eau et de la demande initiale en chlore des nouveaux matériaux. Aux États-Unis, la norme AWWA C651 (America Water Works Association (AWWA), 2014) recommande des concentrations de chlore entre 10 et 200 mg/L Cl_2 pour la désinfection de nouvelles conduites

dans les réseaux de distribution municipaux. La concentration est à ajuster en fonction du temps de séjour suivant le principe du C (concentration) \times t (temps). Ainsi, si une concentration de chlore faible est utilisée, le temps de contact sera élevé et si une concentration élevée de chlore est utilisée, le temps de contact sera faible le tout pour atteindre une valeur cible de Ct . Les valeurs prescrites par la norme C651 ne peuvent être directement utilisées dans un réseau de plomberie d'un grand bâtiment car les matériaux et les diamètres de conduites sont très différents. La norme britannique BS858:2011 (British Standards Institution (BSI), 2011) détaille une méthode de désinfection des réseaux d'eau domestique des grands bâtiments. Le temps de contact est choisi en fonction de la concentration initiale de chlore et de la concentration résiduelle minimale. Les concentrations initiales de chlore varient entre 3,1 et 50 mg/L Cl_2 et les temps de contact entre 1 et 16 heures. La diminution de la concentration de chlore à la fin du temps de contact ne devrait pas dépasser 40% de la valeur initiale. Si la diminution est trop marquée, cela signifie que la demande en chlore est trop élevée et que la purge n'a pas été efficace. La procédure de désinfection devrait être complétée à nouveau. La directive anglaise spécifique aux établissements de santé (Department of Health (DH) & Estates and Facilities Division, 2006) propose deux options différentes soit le maintien de 50 mg/L durant une heure ou encore 20 mg/L durant 2 heures. Elle propose aussi de laisser le chlore dans les conduites 24 heures avant de rincer avec de l'eau propre. Finalement, le temps de contact devrait être prolongé dans les réseaux où la température est plus faible (BSRIA, 2012), ce qui est le cas en hiver à Montréal ($<5^{\circ}C$).

2.3.3 Procédure de rinçage et de désinfection lors de la période d'inutilisation des réseaux d'eau froide et d'eau chaude

Les rinçages préventifs périodiques durant la période d'inutilisation des réseaux d'eau froide et d'eau chaude sont recommandés dans la norme canadienne CSA Z8001-13 sans que ne soient précisées la fréquence et la durée des purges (Canadian Association Association (CSA), 2015). Cependant, des normes et recommandations sont en place à l'international. Une recommandation anglaise (Health and Safety Executive (HSE), 2013) souligne l'importance d'effectuer des rinçages hebdomadaires afin d'assurer la circulation de l'eau et de maintenir des températures de moins de $20^{\circ}C$. Cela permet de réduire la stagnation et ainsi diminuer la possibilité d'une croissance bactérienne et cela assure un résiduel de chlore dans l'ensemble du système. En France, un hôpital universitaire pédiatrique a ouvert récemment et afin de prévenir le développement de la bactérie

légionelle et d'autres bactéries opportunistes associées à l'eau, un protocole de purge a été mis en place durant la période d'inoccupation du bâtiment soit entre la mise en eau et le début de l'occupation. Ce protocole prescrivait entre autres une purge de l'eau aux deux jours à tous les points d'utilisation du réseau durant toute la période. Aussi, une injection de chlore était effectuée (communication avec M. Alain de Libero, responsable des services techniques, hôpital Necker). La durée du rinçage n'est généralement pas donnée dans les normes et recommandations puisqu'elle est dépendante de la conception du réseau. Cependant, une réglementation australienne visant la prévention des légionelles dans les réseaux d'eau précise que la purge devrait permettre de vidanger l'eau stagnante dans les conduites et d'atteindre la température mesurée à l'entrée d'eau du bâtiment (Department of Health (DH) & Estates and Facilities Division, 2006).

2.3.4 Choix de la pâte à souder

Les différents types de pâte à souder sont généralement divisés en fonction de leur solubilité dans l'eau (Edwards, Parks, et al., 2011). La pâte à souder la plus utilisée dans le bâtiment à l'étude est à base de pétrole et ne se dissout pas aisément dans l'eau et n'est pas recommandée dans l'eau potable d'après l'ASTM (ASTM International, 2010). D'après la recommandation de l'ASTM, la pâte à souder devrait pouvoir être rincée facilement, être non-corrosive et contenir moins de 0,2% de plomb. De plus, la Régie du Bâtiment du Québec interdit l'utilisation de pâte à souder à base de produits pétroliers dans l'eau potable depuis 2008 suivant la recommandation de l'ASTM puisque ce produit augmente les risques de corrosion (Régie du bâtiment du Québec (RBQ), 2014). Si une pâte à souder à base de produits pétroliers a tout de même été utilisée, des rinçages à haut débit et haute température permettent d'augmenter la solubilité de la pâte à souder et ainsi effectuer un meilleur rinçage (Self Cleaning Solder Flux, Crest/Good Manufacturing Co.).

2.3.5 Problèmes liés aux métaux

Lors de la mise en eau d'un nouveau bâtiment, la présence de concentration importante de métaux dans l'eau est un enjeu non négligeable. Par exemple, les concentrations de cuivre dissous les plus élevées se mesure dans la nouvelle plomberie qui n'a pas encore été passivée (Schock et al., 1995). Les connexion en laiton peuvent aussi être une source importante de plomb, de zinc et d'étain (Deshommes, Nour, Richer, Cartier, & Prévost, 2012). Aussi, il a été démontré que des appareils de plomberie en laiton peuvent relarguer du plomb et contaminer l'eau à des niveaux excédant la

norme, particulièrement dans les nouveaux bâtiments (Elfland, Scardina, & Edwards, 2010). Ainsi, il est clair que les rinçages sont très importants lors de la mise en service pour passiver les conduites, appareils et connexions.

2.3.6 Paramètres à suivre

Plusieurs paramètres sont importants à mesurer afin de s'assurer de la qualité de l'eau suivant la mise en service d'un réseau. Tout d'abord, les métaux doivent respecter les normes suivantes : Cuivre < 1 mg/L, Plomb < 0,01 mg/L, Zinc < 5 mg/L (Gouvernement du Québec, 2011). Il existe aussi des recommandations soit : Cuivre < 0,3 mg/L et Fer < 0,3 mg/L (Ministère du Développement Durable de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP), 2005). Ensuite, la turbidité doit être inférieure à 5 UTN mais il est recommandé qu'elle soit sous 1 UTN (Gouvernement du Québec, 2011) et *E. coli* ne doit jamais être détecté (Ministère du Développement Durable de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP), 2005). Finalement, il est recommandé que les BHA mesurées au point d'utilisation ne soit pas plus de 10 fois plus élevées qu'à l'entrée d'eau (Castex & Houssin, 2005). Le résiduel de chlore est aussi un paramètre intéressant à suivre pour voir l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps (World Health Organization (WHO), 2011b). De plus, le laiton peut contenir entre 2 et 8 % de plomb (Deshommes et al., 2012).

CHAPITRE 3 DÉMARCHE DU PROJET DE RECHERCHE

La section suivante présente la démarche qui a été suivie dans l'ensemble de ce projet afin d'atteindre les différents objectifs fixés.

3.1 Mise en service d'un nouveau bâtiment

Le chapitre principal de ce mémoire consiste en l'évaluation et le suivi de la qualité de l'eau dans le réseau d'un nouvel hôpital, de la mise en eau du réseau de plomberie jusqu'à la réception des patients dans l'hôpital. L'objectif principal de cette section est d'évaluer la meilleure procédure à suivre pour assurer une bonne qualité de l'eau à court et moyen terme. Aussi, il est important de respecter les normes de la Régie du bâtiment du Québec (RBQ) et de s'assurer de la sécurité des patients en tout temps. Un autre objectif du projet de recherche était de s'assurer du maintien de la qualité de l'eau potable dans l'ensemble du réseau entre la mise en eau et l'arrivée des patients soit une période d'environ 9 mois.

En premier lieu, une désinfection partielle au chlore a été effectuée par l'entrepreneur avant que le bâtiment ne soit livré aux gestionnaires de l'hôpital. Les détails de cette désinfection ne sont pas connus. Une procédure de rinçage et de désinfection a été recommandée durant la période d'inutilisation du bâtiment afin d'éviter une dégradation de la qualité de l'eau et une prolifération de bactéries liée à la stagnation prolongée. Au total, trois réseaux ayant subi différentes procédures de rinçage et de désinfection ont été suivis au moyen de campagnes d'échantillonnage. Les différentes procédures sont décrites dans le Chapitre 5 Mise en service du nouvel hôpital.

3.1.1 Campagnes d'échantillonnages d'août à décembre 2016

Cinq campagnes d'échantillonnage ont été effectuées afin d'obtenir un portrait d'ensemble de l'évolution la qualité de l'eau dans les réseaux d'eau froide et d'eau chaude en fonction du temps, des interventions et du type de robinet soit conventionnel ou un poste de lavage de main (PLM) dont l'eau est mitigée. La première campagne a eu lieu après la livraison du chantier par l'entrepreneur et après la désinfection partielle effectuée par ce dernier. Elle a permis d'ajuster les points sélectionnés pour le reste du projet. La deuxième campagne a permis d'obtenir un portrait d'ensemble de la qualité de l'eau dans le bâtiment au début du projet, suivant la désinfection partielle effectuée par l'entrepreneur. La troisième campagne a eu lieu après un rinçage thermique

de l'ensemble des réseaux, le quatrième échantillonnage a été complété après la désinfection au chlore et la cinquième campagne a eu lieu un mois après le début de l'occupation du bâtiment.

3.1.2 Début de l'occupation du nouveau bâtiment et désinfection thermique complémentaire

Suivant les résultats obtenus lors des campagnes d'échantillonnage avant l'occupation du bâtiment, des questions ont été soulevées par rapport à la qualité de l'eau dans le bâtiment, plus particulièrement par rapport aux valeurs élevées de turbidité et de BHA. Un échantillonnage complémentaire a été effectué sur un grand nombre de points afin d'évaluer l'étendue de la problématique et de comprendre la ou les causes des concentrations élevées en BHA. Suite à cette investigation, une nouvelle désinfection à l'eau chaude a rapidement été effectuée avant l'arrivée des patients afin de résoudre la problématique qui sera présentée Chapitre 5.

Plusieurs recommandations ont été émises à chacune des différentes étapes du projet soit lors du rinçage et de la désinfection effectuée lors de la mise en eau du réseau, lors du rinçage et de la désinfection durant la période d'inutilisation du réseau, lors des campagnes d'échantillonnages, de la désinfection choc au chlore, de la désinfection thermique et finalement, suivant l'occupation du bâtiment.

3.2 Procédure d'enlèvement de filtre Pall

Afin de protéger les patients, des filtres distaux ont été installés sur les pommeaux de douches en attendant la résolution de la problématique de légionelles dans le réseau d'eau chaude. Les filtres permettent de prévenir la dissémination d'aérosols contaminés et de retenir les bactéries derrière le filtre ce qui permet de prévenir des infections. Par contre, les coûts élevés engendrés par la fréquence de remplacement des filtres et le temps requis pour le remplacement par les plombiers en font une mesure d'urgence temporaire qui protège les patients alors que d'autres mesures correctives sont mises en place dans le réseau d'eau chaude pour régler la problématique de légionelles à la source. Suite à des travaux d'amélioration hydraulique effectué dans le bâtiment, une diminution importante de la contamination en *Legionella pneumophila* (*Lp*) a été rapportée justifiant ainsi le retrait des filtres (Boppe et al., 2016). Pour se faire, une procédure de nettoyage de la conduite et du pommeau de douche devait être mise en place. Tout d'abord, deux méthodes différentes pour le nettoyage des douches après l'enlèvement des filtres ont été évaluée. Ensuite,

un protocole pour l'application de la procédure de nettoyage à l'ensemble des douches a été mis en place et finalement, l'efficacité de la procédure de nettoyage dans le temps pour réduire la contamination bactérienne a été évaluée.

3.2.1 Évaluer deux méthodes différentes pour nettoyer les douches après l'enlèvement des filtres

Un essai de la procédure de désinfection a été effectué sur deux douches différentes. La douche 1 était une douche téléphone et la douche 2 est une douche régulière. Deux procédures de nettoyage différentes ont été employées et sont décrites dans le Chapitre 6. Les résultats obtenus lors de l'évaluation de la procédure de nettoyage de la conduite avant le filtre ont permis d'établir un protocole de nettoyage pour le reste des filtres.

3.2.2 Définition du protocole pour l'application de la procédure de nettoyage

L'efficacité de la procédure sélectionnée a été évaluée en l'appliquant sur quatre douches qui ont été échantillonnées. Les résultats obtenus sont satisfaisants et la procédure peut donc être appliquée à plus grande échelle.

CHAPITRE 4 MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre présente chacune des méthodes et des procédures qui ont été suivies afin d'atteindre les différents objectifs présentés dans ce mémoire. Tout d'abord, le Chapitre 5 de ce mémoire présente le suivi qui a été effectué lors de la mise en service du réseau d'eau d'un hôpital de la grande région de Montréal. La chronologie, la sélection des points, la méthode d'échantillonnages et chacune des différentes étapes et mesures prises sont présentées en détail dans ce chapitre. Ensuite, le Chapitre 6 présente la procédure d'enlèvement des filtres distaux qui a été effectué dans un grand bâtiment existant. La méthodologie pour l'évaluation de deux méthodes différentes pour le nettoyage des douches après l'enlèvement des filtres et la définition du protocole pour l'application de la procédure de nettoyage à l'ensemble des douches y est présenté. Les analyses qui ont été effectuées sur les échantillons de ces deux projets sont très similaires et elles sont présentées dans la section 4.3 ci-dessous.

4.1 Mise en service du nouveau bâtiment

Le bâtiment étudié lors de la mise en service possède 12 étages (D à A, 1 à 8) et est doté de trois réseaux de distribution d'eau : HP, BP et CR. Le réseau HP achemine l'eau jusqu'au chauffe-eau situé au 8^{ième} étage puis alimente, suivant des colonnes verticales, les étages 7 à 2. C'est dans cette partie du bâtiment que se trouvent les chambres et soins pour patients à risques. Une conduite horizontale principale alimente ensuite entre 4 et 6 boucles desservant les différentes ailes sur les étages à partir de la colonne verticale. Le réseau BP alimente les sous-sols jusqu'au 1^{er} étage via un chauffe-eau situé au sous-sol. Le réseau CR alimente une partie du bâtiment où aucun patient ne séjourne ou n'est traité.

4.1.1 Méthode d'échantillonnage du nouveau bâtiment

Les prélèvements effectués sur le terrain se déroulaient comme suit : tout d'abord, un premier litre était prélevé immédiatement à l'ouverture du robinet dans une bouteille stérile; ensuite, 500 ml étaient prélevés pour les mesures de physico-chimie; un second litre d'eau était prélevé dans une bouteille stérile après 2 minutes d'écoulement, puis un autre 500 ml étaient finalement prélevés pour faire les analyses de physico-chimie après 2 minutes d'écoulement. Des volumes d'un litre étaient nécessaires pour les analyses microbiologiques puisqu'elles étaient nombreuses alors que 500 ml était suffisant pour les analyses physico-chimiques. Les échantillons étaient conservés dans

une glacière et l'ensemble des analyses de microbiologies étaient complétées dans les premières 24 heures. Les analyses effectuées sur chaque échantillon (1^{er} jet et 2 minutes d'écoulement) étaient nombreuses : température, chlore libre, chlore total, pH, conductivité, oxygène dissous, turbidité, particules, alcalinité, carbone organique total, BHA, bactéries viables, bactéries totales, culture de *P. aeruginosa*, legiolert et les métaux (chrome, cuivre, fer, plomb, zinc).

La conductivité, le chlore, l'oxygène dissous, la température et le pH étaient mesurés sur le terrain et les échantillons pour les analyses de métaux étaient acidifiés immédiatement sur site. Les autres analyses étaient effectuées au laboratoire, suivant l'échantillonnage. Les campagnes étaient prévues sur deux jours afin que les réseaux d'eau chaude et l'eau froide puissent être échantillonnés indépendamment. Il était en effet impossible d'échantillonner les 1^{er} jets d'eau chaude et d'eau froide la même journée sans biaiser les résultats.

Puisque le bâtiment était encore en construction lors de la majorité des échantillonnages, un responsable du centre hospitalier devait nous accompagner lors de la prise d'échantillon. L'échantillonnage sur le terrain était terminé en avant-midi et les analyses se déroulaient au laboratoire en après-midi. Les analyses microbiologiques devaient être complétées dans les 24 heures suivant le prélèvement des échantillons. Plusieurs techniciens de laboratoire et stagiaires ont participé aux campagnes d'échantillonnages puisqu'elles étaient de grande envergure.

4.2 Évaluation de l'efficacité de la procédure de nettoyage des douches après enlèvement des filtres distaux

L'efficacité de la procédure de nettoyage des conduites derrière les filtres a été évaluée à l'aide de plusieurs analyses. Un premier échantillon de 1L de la douche 1 a été récolté dans une bouteille stérile puis un échantillon de 500 ml a été récolté dans une bouteille non-stérile avant de retirer le filtre. Ces échantillons servent de témoin négatif. Le filtre Pall a ensuite été retiré. Le premier jet d'eau chaude sans le filtre a été récupéré pour les douches 1 et 2 dans deux bouteilles de 1L stériles puis deux bouteilles de 500 ml ont été remplies immédiatement après pour évaluer les paramètres physico-chimiques de l'eau des douches 1 et 2. Des échantillons de 1L et 500 ml ont été récoltés pour les deux douches (D1 et D2) après 30 et 60 minutes d'écoulement d'eau chaude. Les analyses microbiologiques ont été effectuées avec les échantillons de 1L puis les analyses physico-

chimiques avec les échantillons de 500 ml. Les résultats de ce premier échantillonnage ont été analysés puis la procédure à suivre pour les autres douches a été établie.

Plusieurs échantillons ont été prélevés pour les douches 3, 4, 5 et 6, soit le premier jet après avoir retiré le filtre puis après 1, 5, 15 puis 30 minutes d'écoulement à au moins 55°C. De plus, des échantillons ont été prélevés 24 heures et un mois après avoir effectué la procédure d'enlèvement des filtres. Pour chaque échantillon, plusieurs analyses ont été complétées comme pour le premier échantillonnage. Les BHA, les bactéries viables et totales, *L. pneumophila* et *P. aeruginosa* ont été évalués. Pour les analyses physico-chimiques, la température, le chlore total et résiduel, la turbidité, le pH et finalement la conductivité ont tous été mesurés.

4.3 Méthodes analytiques

L'ensemble des méthodes analytiques utilisées pour mesurer les qualités physico-chimiques et microbiologiques de l'eau sont présentées dans cette section.

4.3.1 Analyses physico-chimiques

La turbidité a été mesurée avec un turbidimètre Hach 2100Q (Hach, 185 Loveland, CO, USA). La turbidité était mesurée au laboratoire au retour de l'échantillonnage afin d'éviter de surestimer la turbidité de l'échantillon en mesurant des bulles d'air en suspension dans l'échantillon immédiatement après le prélèvement.

Le chlore total et le chlore résiduel ont été mesurés avec un Pocket 184 Colorimeter™ II (Hach, Loveland, CO, USA). Le chlore a été mesuré sur place, immédiatement après avoir prélevé l'échantillon.

Le pH et l'oxygène dissous ont été mesurés avec un appareil Hach 186 Multi-Parameter HQ40d, avec une sonde de pH PHC301 et une sonde d'oxygène dissous 187 LDO101 (Hach, Loveland, CO, USA). Le pH et l'oxygène dissous étaient mesurés sur place lors de l'échantillonnage.

La conductivité était mesurée sur place lors de l'échantillonnage à l'aide d'un appareil Hach Multi-meter SensIon156 (modèle 54650-60) muni d'une sonde de conductivité (modèle 51975-00).

L'évaluation des particules a été faite avec un Brightwell Micro-Flow Imaging DPA4100 Particle Analysis System. Les limites de détection de cet appareil sont 2,5 µm à 25 µm. Les particules étaient analysées au laboratoire.

Les mesures de concentrations de métaux ont été complétées à l'Université de Montréal. La méthode utilisée est par ICP-MS suivant la méthode de l'EPA 200.8 qui nécessite une digestion à l'acide HNO_3 à une concentration de 0,5% durant 24 heures avant d'effectuer les analyses ((USEPA), 1994; United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1994).

4.3.2 Analyses microbiologiques

4.3.2.1 Bactéries hétérotrophes aérobies anaérobies facultatives

Les concentrations de BHA ont été évaluées par compte sur géloses, sur un milieu de culture R2A agar après 7 jours d'incubation à 22°C suivant la méthode 9215-D (American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF), 2005). La concentration de BHA pouvait ensuite être évaluée connaissant le volume d'échantillon déposé sur le milieu de culture. Pour chaque échantillon, trois dilutions différentes étaient effectuées en duplicata. Dépendamment du type d'échantillon, des volumes entre 0,001 ml et 100 ml étaient filtrés. Pour les volumes inférieurs à 1 ml, des dilutions étaient effectuées dans du tampon phosphate préparé avec de l'eau Milli-Q stérile.

4.3.2.2 Pseudalert®, Colilert® et Legiolert®

Le Pseudalert® permet d'évaluer la présence de *Pseudomonas aeruginosa* en 24 à 48 heures dans l'eau potable (IDEXX Peudalert®/Quanti-Tray®). Le Colilert® permet d'évaluer la présence de la bactérie *Escherichia coli* en 24 heures et ce test est approuvé par l'USEPA. Le Legiolert® permet de détecter la présence de *Legionella pneumophila* dans l'eau potable en 7 jours. Les trois tests sont complétés de la même façon soit en mélangeant un échantillon d'eau et un réactif puis en plaçant l'échantillon dans un plateau qui est ensuite scellé et incubé à une température et une période définie. Un volume de 100 ml d'échantillon est utilisé pour le Colilert® et 10 ml pour le Légiolert®. Pour le Pseudalert, des volumes entre 1 ml et 100 ml ont été analysés. Les volumes étaient sélectionnés en suivant les recommandations du fabricant. Les températures d'incubation étaient les suivantes : 35°C \pm 0,5°C pour le Colilert®, 37°C \pm 0,5°C pour le Legiolert® et 38°C \pm 0,5°C pour le Pseudalert®. Les résultats sont obtenus selon la méthode du nombre le plus probable (MPN).

4.3.2.3 Culture de *P. aeruginosa* et *L. pneumophila*

Des cultures des *P. aeruginosa* ont été effectuées au laboratoire afin de vérifier les résultats obtenus avec le Pseudalert®. Les cultures ont été complétées suivant la méthode ISO16266:2006 (International Organization for Standardization (ISO), 2006). Les échantillons étaient filtrés sur des filtres Millipore® 0,45 µm puis placés sur un milieu Centrimide agar (45.3 g/L Cetrimide Selective Agar (Remel), 10 mL/L glycerol (Fisher), 0.015 g/L nalidix acid (Sigma-Aldrich)), et finalement incubés à 37,5°C durant 24 heures puis 48 heures. Les colonies étaient comptées après 24 heures puis le compte confirmé après 48 heures. Les cultures de *L. pneumophila* ont été envoyées au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) qui est accrédité par le gouvernement du Québec pour effectuer des analyses microbiologiques provenant de l'eau potable. La méthode utilisée pour la culture de *L. pneumophila* est celle de l'AFNOR NF T90-431 (Association Française de Normalisation (AFNOR), 2006).

4.3.2.4 Bactéries viables et totales

Les comptes de bactéries viables et totales ont été effectués à l'aide de la méthode LIVE/DEAD BacLight Bacterial Viability Kit (Molecular Probes, Eugene, USA) (Boulos, Prévost, Barbeau, Coallier, & Desjardins, 1999). Cette méthode permet de différencier les bactéries viables des mortes en utilisant l'intégrité membranaire comme critère. Tout d'abord, 1 ml, 10 ml ou encore une dilution dans de l'eau saline stérile à 0,85% était mélangée avec 3 µl de teinture (propidium iodide et SYTO9). Cette solution était incubée durant 15 minutes puis filtrée sur un filtre noir de 25 mm de diamètre en polycarbonate avec des pores de 0,2 µm de diamètre (Milipore, Bedford, USA). Finalement, le compte était effectué avec un grossissement 1 000 X sur un microscope Olympus avec épifluorescence. Les cellules viables apparaissaient en vert et les mortes en rouge.

4.3.2.5 Extraction d'ADN et qPCR

La quantification de legionelle par qPCR a été effectuée avec un Corbett Rotorgene 6000 en utilisant le kit iQ-Check Quanti *L. pneumophila* (Bio-Rad, Mississauga, Canada). Le protocole suivant a été suivi : 15 minutes de dénaturation à 95°C suivi par 50 cycles de dénaturation à 95°C durant 15 secondes, chauffage à 57°C durant 30 secondes puis élongation à 72°C durant 30 secondes et l'élongation finale à 72°C durant 15 minutes (Bonetta, Ferretti, Balocco, & Carraro, 2010). Un contrôle interne, un contrôle négatif et quatre standards d'ADN dont la concentration

varie entre 19 et $3,9 \times 10^4$ unité génomique (GU) étaient fournis avec le kit. L'extraction d'ADN a été effectuée directement sur un filtre en utilisant la méthode du bead beating adaptée de Z. Yu and Mohn (1999). Brièvement, 300 mL d'eau ont été filtrés sur un filtre de 0,45 mm de cellulose puis le filtre a été inséré dans un tube contenant une matrice de grenat et une bille de céramique de 0,25 pouce de diamètre (Lysing Matrix A, MP Biomedicals, Solon, SA). Un volume de tampon d'extraction de 1 mL a été ajouté dans chaque tubes avant d'effectuer le bead beating avec un FastPrep MPBio-24. Cette étape est suivie par une précipitation à l'acétate d'ammonium puis des lavages successifs à l'éthanol.

4.3.3 Analyse statistique MarSpline

Plusieurs analyses statistiques ont été effectuées par régression adaptatives à plusieurs variables ((multivariate adaptative regression spline [MARspline]) dans le logiciel Statistica10 (StatSoft). Une régression MARspline est une analyse non paramétrique dans laquelle des variables continues, catégorielles et nominales peuvent être ajoutées au modèle et à partir desquelles la meilleure adaptation est proposée avec quelques-unes ou toutes les variables proposées.

CHAPITRE 5 MISE EN SERVICE DU NOUVEL HÔPITAL

Ce chapitre présente les résultats du suivi sur plusieurs mois de la mise en service d'un nouvel hôpital.

5.1 Chronologie des échantillonnages et des interventions

Le nouveau bâtiment a été mis en eau au printemps 2016 et mis en route en avril 2016 par l'entrepreneur chargé de la construction du bâtiment (Figure 5-1). Durant la période d'inutilisation du bâtiment, l'eau du réseau d'eau chaude était à la température du réseau d'eau froide à l'exception des moments où des tests étaient effectués sur le chauffe-eau.

Entre le 22 et le 29 juin 2016, une désinfection partielle au chlore du réseau principal (HP) a été effectuée et le chantier a été livré aux gestionnaires de l'hôpital le 29 juin 2016. En premier lieu, une évaluation préliminaire de la qualité de l'eau dans le nouvel hôpital a été effectuée lors de la campagne d'échantillonnage du 22 août 2016. Un portrait d'ensemble de la qualité de l'eau dans le réseau a été présenté et la planification des échantillonnages subséquents a été réalisée. Un plan de suivi a été établi et ainsi, quatre grandes campagnes d'échantillonnages ont été effectuées les semaines du 20 septembre, 27 septembre, 17 octobre et 21 novembre (Figure 5-1). Chacun de ces échantillonnages se déroulait sur deux semaines car le nombre de points à échantillonner était trop élevé. Un rinçage à l'eau chaude a été complété entre le 31 octobre et le 6 novembre 2016. Une désinfection au chlore du réseau a été réalisée entre le 8 et le 14 novembre, soit trois semaines avant l'arrivée des patients dans l'hôpital. Finalement, une dernière campagne d'échantillonnage a eu lieu un mois après l'arrivée des patients afin de voir l'évolution de la qualité de l'eau lorsque le bâtiment est en utilisation normale.

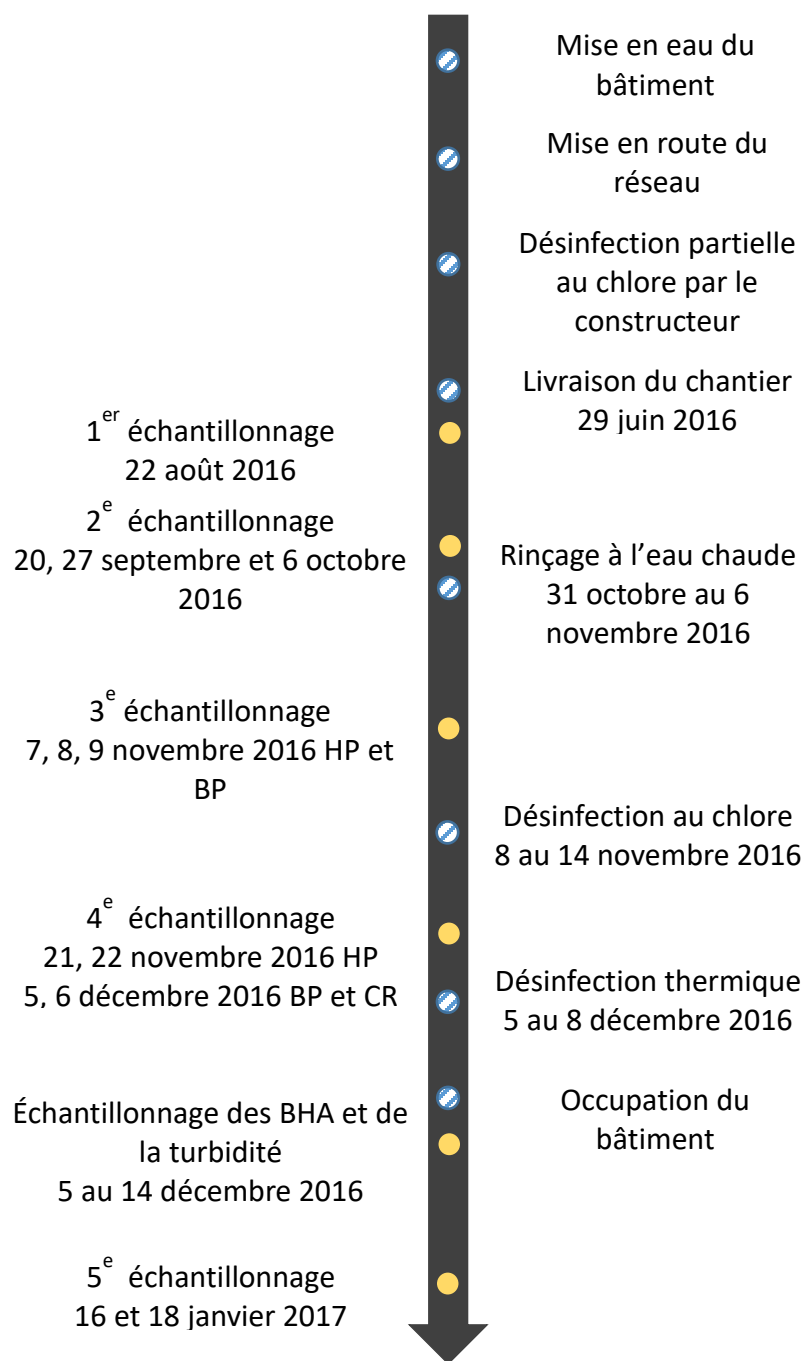


Figure 5-1 Ligne du temps des interventions sur le réseau et des échantillonnages

5.2 Sélection des points

Un premier échantillonnage a été effectué en août, principalement dans le réseau HP, pour un total de 15 échantillons:

- Aux 2 entrées d'eau municipale (B1 et B2) située au sous-sol alimentant le bâtiment

- 8e étage du réseau HP (B3 et B4) : eau froide et eau chaude après 2 minutes de rinçage
- 2e, 3e et 7e étages du HP (B5 à B13) : 1er jet d'un poste de lavage de main, eau froide et eau chaude après 2 minutes de rinçage (n=9)
- 2e étage du réseau CR (B14 et B15) : eau froide et eau chaude après 2 minutes de rinçage.

La caractérisation des échantillons selon le lieu de prélèvement, le type d'eau, le temps d'écoulement et le type de robinet est présentée au Tableau 5-1.

Tableau 5-1 : Caractéristiques des points échantillonnés au mois d'août 2016

<i>No point</i>	<i>Étage</i>	<i>Réseau principal</i>	<i>Type de robinet</i>	<i>Type d'échantillon</i>	<i>Type d'eau</i>
<i>B1</i>	A	Entrée no. 1		Syst	Froide
<i>B2</i>	D	Entrée no. 2		Syst	Froide
<i>B3</i>	8	HP	Manuel	Rincé	Froide
<i>B4</i>	8	HP	Manuel	Rincé	Chaude
<i>B5</i>	7	HP	Pédale	1er jet	Mélangé
<i>B6</i>	7	HP	Manuel	Rincé	Froide
<i>B7</i>	7	HP	Manuel	Rincé	Chaude
<i>B8</i>	3	HP	Pédale	1er jet	Mélangé
<i>B9</i>	3	HP	Manuel	Rincé	Froide
<i>B10</i>	3	HP	Manuel	Rincé	Chaude
<i>B11</i>	2	HP	Pédale	1er jet	Mélangé
<i>B12</i>	2	HP	Pédale	Rincé	Froide
<i>B13</i>	2	HP	Pédale	Rincé	Chaude
<i>B14</i>	2	CR	Manuel	Rincé	Froide
<i>B15</i>	2	CR	Manuel	Rincé	Chaude

Les points d'échantillonnage sur les étages ont été choisis en fonction de leur grande distance par rapport aux colonnes d'eau verticales ainsi que d'après le type de robinet soit conventionnel ou à pédale. Les robinets à pédales (PLM) ont des mitigeurs donc la température ne peut être ajustée et il s'agit d'un mélange d'eau chaude et d'eau froide et c'est pourquoi un seul échantillon était prélevé à cet endroit.

L'échantillonnage du mois d'août a permis de sélectionner les points d'échantillonnage, les types d'équipements à échantillonner et les types d'échantillons à prélever afin d'obtenir un portrait représentatif de l'ensemble du bâtiment. Le Tableau 5-2 présente les nouveaux points d'échantillonnage.

Tableau 5-2 : Présentation des points échantillonnés dans le nouveau bâtiment (HP, BP, CR)

<i>Réseaux</i>	<i>Type de robinet</i>	<i>Type d'échantillon</i>	<i>Type d'eau</i>
HP, BP	Pédale	1 ^{er} jet	Mitigeur (eau froide + eau chaude)
		Rincé	
HP, BP, CR	Conventionnel	1 ^{er} jet	Eau froide
			Eau chaude
		Rincé	Eau froide
			Eau chaude

De plus, il a été décidé d'échantillonner l'eau municipale après mélange des deux entrées d'eau au lieu d'échantillonner chaque entrée d'eau séparément, afin que les valeurs obtenues soient plus représentatives de l'eau qui circule dans le bâtiment. Pour ce faire, un nouveau site d'échantillonnage a été installé par le service technique de l'hôpital sur la conduite d'amenée d'eau mélangée. Un total de 34 échantillons a été prélevé à chaque campagne d'échantillonnage.

5.3 Échantillonnage suivant le rinçage effectué par l'entrepreneur

Un premier échantillonnage a été effectué le 22 août 2016, soit environ deux mois après la désinfection partielle effectuée par l'entrepreneur. Étant donné le peu d'information disponible sur les paramètres de désinfection employés, cet échantillonnage a permis d'obtenir un premier aperçu de la qualité de l'eau dans le réseau (Tableau 5-3) et de procéder à la sélection des points pour le suivi dans le temps.

Tableau 5-3 : Résultats physico-chimiques et microbiologiques du 22 août 2016

No point	Température (°C)	Cl ₂ libre (mg/L)	pH	Turbidité (UNT)	Oxygène dissous (mg/L)	Carbone organique total (mg/L)	Particules/mL	BHA (UFC/mL)	Viables (bact/mL)	Totales (bact/mL)	<i>P. aeruginosa</i> (MPN/100 ml)	<i>L. pneumophila</i> (CFU/L)	<i>Legionella</i> spp. (CFU/L)	Cu (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)	Fe (µg/L)
B1	23,9	0,5	8,4	0,4	8,1	5,3	2644	1,4	424	7631	< 1	<10	<10	4	0	6	6
B2	24,7	0,3	8,3	0,7	8,1	5,1	7963	81	3286	13566	< 1	<10	10	6	2	15	44
B3	24,2	0,3	8,2	0,2	8,0	2,1	1424	155	2332	17170	< 1	<10	<10	74	1	3	5
B4	24,3	0,0	8,0	0,4	6,8	1,8	553	>300	84788	398033	INT.	<10	<10	1194	21	133	8
B5	37	0,0	7,5	19,6	3,1	1,9	35450	>300	38155	409102	INT.	<100	<100	2739	8	262	613
B6	27,7	0,0	8,1	4,0	7,4	2,2	320	>300	61471	112344	< 1	<10	<10	82	1	18	61
B7	49	0,0	7,5	5,8	3,3	1,7	4440	>300	942	36506	< 1	<10	<10	838	2	84	72
B8	37,3	0,0	7,7	4,7	3,5	1,8	5561	>300	48753	248005	INT.	<10	<10	1155	12	194	82
B9	27	0,1	8,2	1,9	7,2	1,8	5316	>300	25860	54264	4	<10	<10	36	0	11	310
B10	53,8	0,0	7,7	7,3	4,4	1,7	17167	81	236	44043	< 1	<10	<10	1503	4	144	119
B11	24,8	0,0	8,2	-	6,5	1,9	1859	>300	46633	220449	INT.	<100	<100	235	2	92	103
B12	24,2	0,0	8,2	-	6,2	1,7	551	>300	101746	184414	INT.	<100	<100	25	1	35	104
B13	24,8	0,0	8,2	-	6,7	1,7	1242	>300	82433	186063	INT.	<10	4000	25	1	31	107
B14	23,4	0,0	8,2	1,2	1,0	2,1	1658	81	339152	1688694	INT.	<10	<10	130	1	257	138
B15	28,2	0,0	7,6	4,1	1,3	2,5	2460	189,5	4239	1191271	< 1	<10	<10	44	16	777	231

INT. : Interférence au niveau de la méthode de détection en raison de la présence élevée de BHA

Tout d'abord, les valeurs de température, chlore libre, et pH témoignent de l'effet de la stagnation dans les réseaux, malgré des rinçages hebdomadaires. La température de 2 des 7 échantillons d'eau froide étaient supérieurs à 25°C alors que 4 des 5 points provenant de l'eau chaude se trouvaient sous 55°C après 2 minutes de rinçage. Des tests avaient lieu sur les pompes de recirculation du système d'eau chaude HP lors de la prise d'échantillons, ce qui pourraient expliquer les températures sous le point de consigne. L'absence de chlore libre à l'ensemble des points entre le 2^e et le 7^e étage du réseau HP et au robinet dans le CR témoigne soit d'un temps de séjour prolongé de l'eau ou d'une demande en chlore liée à la présence de particules ou de matière organique dans les conduites, en raison d'un rinçage inefficace dans certaines conduites du secteur lors de la mise en eau. Cette situation était présente malgré des rinçages hebdomadaires aux point d'utilisation des réseaux HP et BP. Finalement, un pH moyen de 7,9 a été mesuré aux différents points de prélèvement, comparativement à un pH de 8,3 à l'entrée d'eau. La baisse de pH observée est attribuée à la stagnation prolongée et la consommation bactérienne peuvent diminuer le pH et augmenter la corrosion des matériaux comme le cuivre et le laiton. Le cuivre peut aussi entraîner une baisse du pH.

La turbidité des échantillons est supérieure à la recommandation de 1 UTN dans plus de 50% des échantillons et elle est supérieure à 5 UTN pour 3 échantillons, ce qui est très élevé en eau potable (Santé Canada, 2010). Les valeurs élevées mesurées dans le nouveau bâtiment comparativement aux deux entrées d'eau suggèrent un manque d'efficacité des opérations de rinçage. Les valeurs élevées de particules à quelques points dans le réseau de l'hôpital concordent avec les valeurs élevées de turbidité. Elles indiquent une accumulation locale de particules et démontre encore une fois que le rinçage effectué était insuffisant pour nettoyer le réseau. Cependant, les valeurs élevées de particules mesurées aux entrées d'eau témoignent aussi de la présence de particules dans la conduite d'alimentation municipale. Ces particules proviennent probablement de dépôts accumulés au fil du temps, qui ont été délogés lors des essais de mise en eau par ces entrées de service après de longues périodes de stagnation.

Au niveau de l'oxygène dissous, les baisses importantes observées pour certains des points témoignent non seulement de la stagnation, mais aussi de la présence de bactéries consommant l'oxygène dissous. La diminution marquée en carbone organique total observée dans le réseau du nouvel hôpital suggère aussi une présence accrue de bactéries. En effet, l'augmentation du carbone organique total (COT) peut être indicateur de la présence d'une contamination de nature organique alors qu'une diminution indique une consommation de carbone par les bactéries.

La forte hausse en bactéries viables et totale observée aux points d'utilisation par rapport à l'entrée d'eau confirment les observations faites au niveau de l'oxygène dissous et du carbone organique total. La présence des bactéries cultivables a été sous-estimée lors de cet échantillonnage car elle était plus importante que ce qui était attendu. Un échantillonnage préliminaire avait eu lieu le 29 avril 2016, dans lequel les valeurs de BHA obtenus étaient faibles (<50 UFC/ml). De plus grands volumes d'échantillons ont donc été filtrés pour les 15 échantillons afin d'augmenter la limite de détection inférieure. Cependant, 9 des 15 échantillons avaient des concentrations supérieures à 300 UFC/ml. Cette hausse importante suggère une détérioration de la qualité de l'eau dans le réseau entre les mois d'avril et août. En France, le guide technique *L'eau dans les établissements de Santé* (Castex & Houssin, 2005) utilise les BHA comme indicateurs de changement de la qualité d'eau et une augmentation de moins de 10X par rapport à l'entrée d'eau est recommandée. On note que 8 des 13 échantillons prélevés ont des valeurs qui dépassent l'indicateur de changement de la qualité de l'eau. Des dilutions seront effectuées pour les échantillonnages subséquents afin d'augmenter la limite supérieure de détection.

L'ensemble des échantillons étaient négatifs pour *E. coli* et *L. pneumophila*, et un échantillon d'eau chaude était positif pour *Legionella spp.* Il n'existe pas de normes ou recommandations pour *Legionella spp.* au Québec et la tendance à l'international est de normer *Legionella pneumophila* plutôt que *Legionella spp.*

L'interprétation des résultats pour la présence de *P. aeruginosa* mesurée par la méthode Pseudalert a été plus difficile, en raison d'une interférence liée à la présence élevée de BHA dans l'échantillon. Dans le réseau du nouvel hôpital, initialement 8 des 15 échantillons étaient positifs dont 7 se trouvaient au-dessus de la limite de détection de la méthode (>2420 MPN/100mL). Un tel résultat serait indicateur d'un important problème de contamination dans le réseau. Après avoir effectué des analyses pour plusieurs dilutions d'un même échantillon, en parallèle avec la méthode par culture sur gélose et suite à des discussions avec le fabricant du test Pseudalert, il a été conclu que les échantillons n'étaient pas positifs pour *P. aeruginosa*. La présence importante de BHA (>5000 UFC/mL) excède la capacité d'inhibition de flore interférente du test et peut donner de faux positifs lors des analyses. En tenant compte de l'interférence due aux BHA, un seul échantillon s'est avéré réellement positif pour *P. aeruginosa*, à une concentration de 4 MPN/100 mL. Bien que ce résultat soit faible, l'absence de *P. aeruginosa* est l'objectif visé dans l'eau potable et ce point sera donc à surveiller par la suite (Ministère du développement durable de l'environnement et lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2016).

Pour ce qui est des métaux, le cuivre, le plomb, le zinc et le fer ont été mesurés. Quatre des 13 échantillons prélevés aux points d'utilisation ont des valeurs en cuivre supérieures à 1 000 µg/L, le maximum normé par le Règlement sur la qualité de l'eau potable (Ministère du Développement Durable de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2010). Ces 4 échantillons ont été prélevés dans l'eau chaude ou dans l'eau mitigé, ce qui suggère des concentrations plus élevées dans le réseau d'eau chaude. Cette différence peut être associée à une proportion de cuivre plus importante dans le réseau d'eau chaude que dans le réseau d'eau froide. En effet, toutes les conduites de 2,5 po et moins sont en cuivre dans l'hôpital étudié, alors que les conduites d'un diamètre plus grand sont en acier inoxydable. Les conduites d'eau chaude ont des diamètres inférieurs à celles d'eau froide et de ce fait, une plus grande proportion des conduites d'étage sont en cuivre dans le réseau d'eau chaude. Les valeurs de plomb sont supérieures à la norme de Santé Canada dans 3 échantillons provenant de robinets mitigés (Santé Canada, 2003). Ces valeurs élevées sont

associées aux valves mitigeurs des postes de lavage de main ou à la présence de soudures ou de composantes relargant du plomb. Bien que les valeurs en zinc étaient toutes inférieures à 5 000 µg/L, certains points étaient beaucoup plus élevés que ce qui est mesuré en moyenne dans les grands bâtiments. Les valeurs élevées en zinc sont discutées dans la section 5.3.3. Finalement, une valeur élevée de fer a été mesurée dans un échantillon, ce qui pourrait être un indicateur de corrosion de certaines composantes du réseau.

Les résultats obtenus lors du premier échantillonnage suggèrent que le rinçage effectué par l'entrepreneur n'a pas été efficace. Un nouveau rinçage et une nouvelle désinfection sont recommandés avant l'occupation du bâtiment par les patients. De plus, la sélection des points dans le bâtiment a été revue afin de bien évaluer la qualité de l'eau en fonction des différents paramètres pouvant l'influencer : le lieu de prélèvement, le type d'eau, le temps d'écoulement et le type de robinet.

5.4 Évaluation de l'impact des différentes approches de gestion durant mise en service

La qualité d'eau dans les 3 réseaux étudiés a été suivie par le biais de 4 campagnes d'échantillonnage entre les mois de septembre 2016 et janvier 2017, selon la chronologie établie dans la section 5.1. Tout au long de cette période, la qualité d'eau alimentée au bâtiment était stable. Les valeurs moyennes et les écart-type mesurés à l'entrée d'eau sont présentées dans le Tableau 5-4. L'effet du protocole de rinçage sera étudié en comparant l'évolution des paramètres de qualité d'eau pour les réseaux BP, HP et CR en fonction des interventions.

Les trois approches de gestion qui ont été étudiées varient à deux niveaux. Tout d'abord, les réseaux BP et HP ont été rincés une fois par semaine pendant 5 minutes à chaque point d'utilisation dès la réception du bâtiment par l'hôpital pour le HP (juin 2016), et dès la mise en eau pour le BP (septembre 2016). Il est à noter que certains secteurs du réseau HP avaient été mis en eau dès le mois d'avril 2016. En comparaison, les points d'utilisation du réseau CR n'ont pas été rincés jusqu'au rinçage à haut débit et à la désinfection effectués en novembre et décembre 2016, c'est le secteur témoin de l'étude. Ensuite, le réseau HP a reçu une désinfection partielle juste avant le transfert du bâtiment à l'équipe de l'hôpital, alors que les deux autres réseaux n'ont pas été désinfectés par l'entrepreneur. Les principaux paramètres présentés pour évaluer l'impact de ces

approches sont : les BHA, les bactéries totales, la turbidité, les particules et les concentrations en cuivre et en zinc. La qualité microbiologique de l'eau a été évaluée par des paramètres généraux (bactéries cultivables et totales) ainsi que par la recherche de *P. aeruginosa* et *L. pneumophila*. La présence de bactéries opportunistes n'a pas été détectée dans aucun des réseaux entre les mois de septembre et janvier. Le suivi des BHA a été utilisé afin d'évaluer la stabilité de la qualité de l'eau d'un réseau. Les dénombrements de BHA augmentent considérablement par rapport à l'entrée d'eau (48 553 UFC/mL en moyenne) dans les réseaux d'eau du nouveau bâtiment (Figure 5-2).

Tableau 5-4 : Moyenne et écart-type obtenus lors des échantillonnages de l'entrée d'eau de septembre 2016 à janvier 2017

	Moyenne	Écart-type	
<i>BHA</i>	57,6	74,2	UFC/mL
<i>Particules</i>	1 922	1 473	Part/mL
<i>Viables</i>	1 033	1 449	Bact/mL
<i>Totales</i>	5 909	9 793	Bact/mL
<i>Turbidité</i>	0,26	0,16	UTN
<i>Chlore libre</i>	0,74	0,16	mg/L
<i>Cr</i>	0,14	0,04	µg/L
<i>Cu</i>	13,14	4,1	µg/L
<i>Fe</i>	9,49	2,3	µg/L
<i>Pb</i>	4,78	5,6	µg/L
<i>Zn</i>	36,32	14,7	µg/L

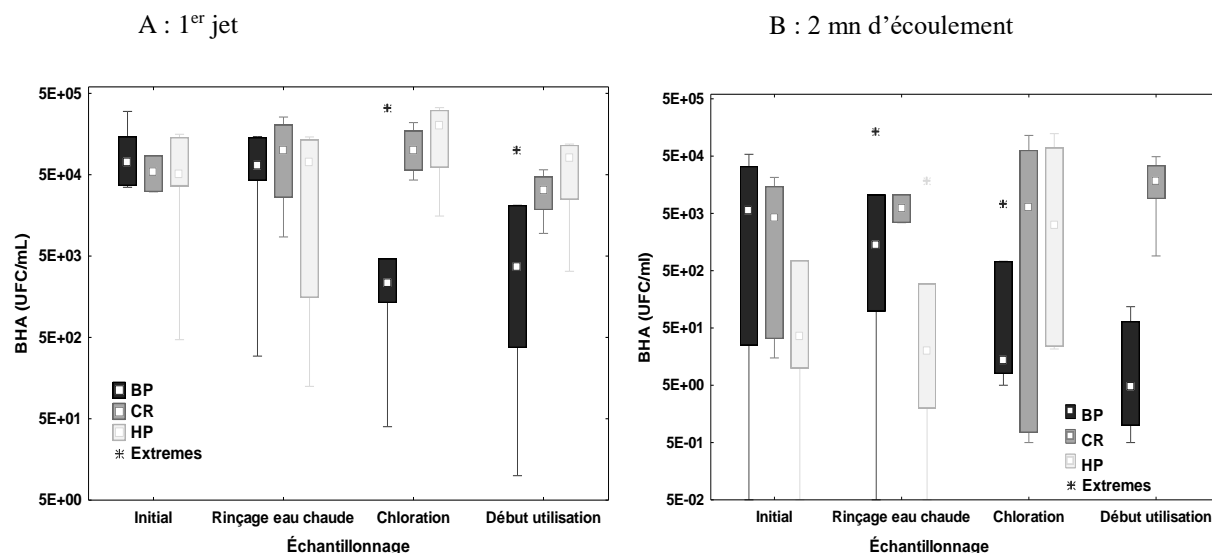


Figure 5-2 : Variation des BHA en fonction du type d'échantillon (A : 1^{er} jet, B : 2 mn d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau

Les concentrations dépassent 10 000 UFC/ml dans la moitié des échantillons au 2^e échantillonnage puis 9 des 12 échantillons dépassent cette même concentration lors du 3^e échantillonnage. De plus, 5 échantillons sur 12 dépassaient 100 000 UFC/ml dans des échantillons provenant du 1^{er} jet et après deux minutes de rinçage lors de l'échantillonnage suivant la désinfection au chlore. En comparaison, les concentrations moyennes typiques de BHA mesurées au 1^{er} jet dans le bâtiment existant du même hôpital sont de 321 UFC/ml en eau froide (n=28). Dans une étude italienne comprenant 44 264 échantillons, les moyennes de BHA au 1^{er} jet atteignaient 582 UFC/ml et diminuaient à 55 UFC/ml après un court rinçage (Cristina et al., 2014).

Les valeurs anormalement élevées dans les réseaux du nouveau bâtiment pourraient être associées au type de pâte à souder utilisée lors de la construction du réseau de plomberie. En effet, une étude par Edwards et al. a montré que l'utilisation d'une pâte à souder à base de produits pétroliers pour la soudure du cuivre pouvait engendrer une problématique importante au niveau des bactéries cultivables, de la turbidité, de la nitrification et des métaux présents dans l'eau ((Edwards, Hidmi, & Gladwell, 2002)). Ce type de pâte à souder, bien que non conforme au code de plomberie ((Gouvernement du Québec, 2008)), est encore utilisé par de nombreux plombiers au Québec. Il a donc été établi que la pâte à souder à base de produits pétroliers avait été utilisée pour la construction du nouveau bâtiment. L'excès de pâte à souder présent à l'intérieur des conduites de

cuivre est très difficiles à rincer, particulièrement lorsqu'une période de plus d'une semaine s'écoule entre la soudure et le rinçage des conduites. Il n'existe donc pas de procédure établie pour rincer les conduites dans un tel cas, mais le fabricant de la pâte à souder a recommandé un rinçage prolongé à haute température. Le premier rinçage thermique et la désinfection au chlore ont permis de réduire les valeurs en BHA dans les réseaux (Figure 5-2). Cependant, les valeurs obtenues demeuraient élevées, surtout dans le réseau HP. Étant donné que ce réseau avait été mis en eau beaucoup plus tôt que les 2 autres, il est possible que la pâte à souder ait été plus difficile à déloger. La présence de résidus de pâte à souder accumulés dans les coudes et dans les aérateurs a contribué à encrasser le réseau et à consommer le chlore lors de la désinfection, ce qui pourrait expliquer les concentrations élevées de BHA malgré une désinfection. Bien que le rinçage thermique n'ait pas été suffisant pour déloger les résidus dans la plomberie de connexion et le robinet étant donné les nombreuses soudures et la présence de cul de sac, une baisse des valeurs de BHA dans les échantillons rincés témoigne d'une amélioration dans le réseau secondaire de l'étage. Les concentrations de BHA mesurés au 1^{er} jet sont encore très élevées, 18 des 34 échantillons prélevés au 1^{er} jet ont des concentrations supérieures à 10 000 UFC/ml.

Un phénomène semblable a été observé pour la turbidité et les particules. Pour tous les réseaux, la turbidité diminue au fil des interventions de rinçages thermiques et de désinfection (Figure 5-4). Les turbidités initiales sont élevées, jusqu'à 25 fois plus que l'eau alimentée (0,2 UTN), dont 8 des 12 points d'utilisation échantillonnés sont à plus de 1 UTN. Les réseaux HP et BP ont tout de même des valeurs de turbidité moins élevées que le réseau non-rincé (CR). On note aussi que la turbidité moyenne dans l'eau de réseau du CR (après 2 minutes d'écoulement) demeure supérieure aux autres réseaux, même après le début de l'occupation (Figure 5-4). On observe les mêmes tendances au niveau des particules (Figure 5-3).

À la lumière de ces résultats et en raison de l'arrivée des patients, un échantillonnage ciblé à chaque étage du réseau HP (46 points) a été effectué du 5 au 14 décembre afin d'évaluer l'étendue de la problématique des BHA et de la turbidité. Il est possible de constater que les BHA et la turbidité sont particulièrement élevés dans les 1^{ers} jets des postes de lavage de main. Un rinçage thermique a été entrepris juste avant l'occupation du bâtiment pour éliminer les résidus de pâte à souder toujours présents dans le réseau. Les valeurs de turbidité et de BHA mesurées après le début de l'occupation semblent indiquer que les boucles des réseaux et les robinets conventionnels ont bien été rincés.

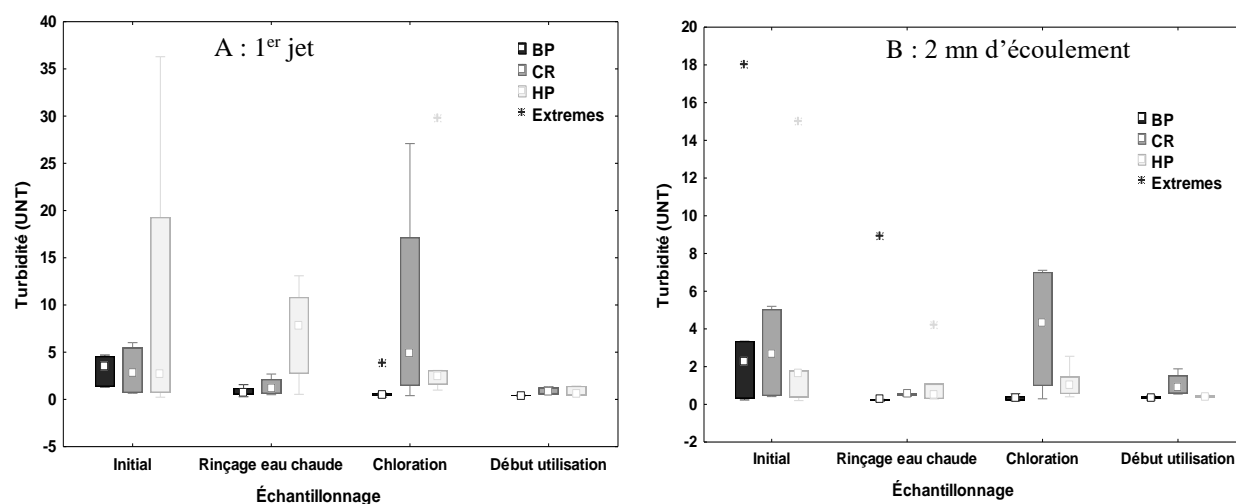


Figure 5-4 : Variation de la turbidité en fonction du type d'échantillon (A : 1^{er} jet, B : 2 mn d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau

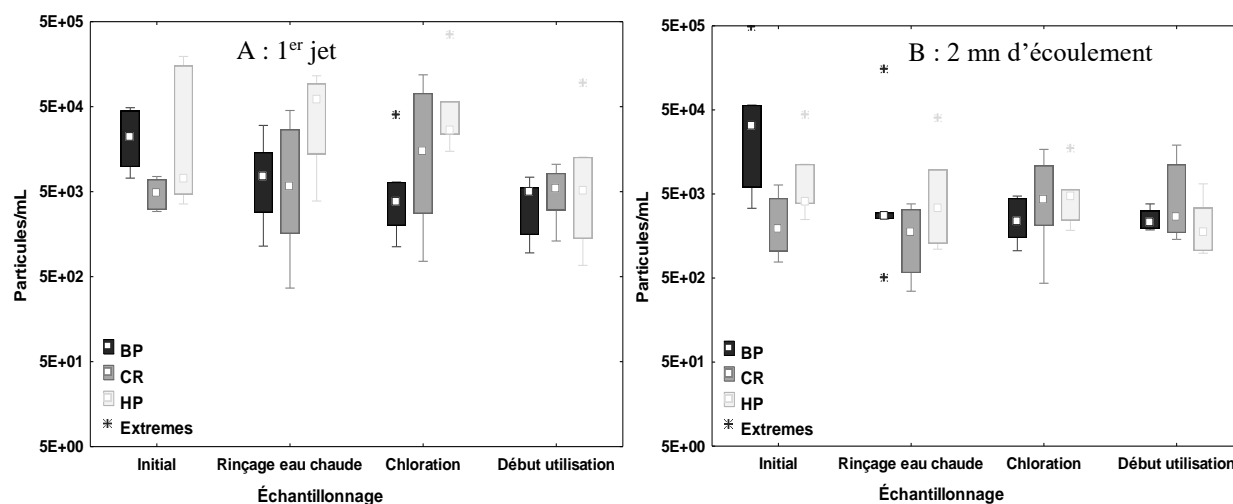


Figure 5-3 : Variation du compte de particules en fonction du type d'échantillon (A : 1^{er} jet, B : 2 mn d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau

La présence plus élevée de métaux dans l'eau était attendue en raison de la plomberie neuve qui n'est pas encore passivée. Les concentrations en cuivre moyennes mesurées lors des deux premiers échantillonnages étaient de 978 et 1441 $\mu\text{g/L}$ ($n=24$), avec 34% des échantillons dépassant la norme de 1000 $\mu\text{g/L}$ du RQEP. L'augmentation observée entre l'échantillonnage de septembre et celui suivant le rinçage à l'eau chaude (Figure 5-5) pourrait être associée à la présence de résidus de pâte à souder qui en plus de favoriser la croissance des bactéries, accélère la corrosion des conduites. Bien qu'une baisse importante ait été observée, les valeurs au premier jet demeurent élevées en comparaison à la recommandation de 300 $\mu\text{g/L}$ de cuivre de la Californie pour les hôpitaux pédiatriques. Cette recommandation pourrait être difficile à respecter pour des systèmes en cuivre, même passivé, si l'eau est corrosive. Dans le cas de l'ancien bâtiment de cet hôpital, la moyenne en cuivre était de 571 $\mu\text{g/L}$ malgré des conduites de plus de 50 ans (Bédard, Charron, et al., 2015). Les concentrations de zinc mesurées au point d'utilisation lors de l'échantillonnage initial étaient très élevées par rapport aux valeurs à l'entrée d'eau : 623 $\mu\text{g/L}$ vs 46 $\mu\text{g/L}$ (Figure 5-6). Ces valeurs étaient probablement associées à la pâte à souder, dont l'un des ingrédients est le chlorure de zinc. Le premier rinçage thermique a d'ailleurs contribué à une baisse importante des concentrations en zinc, résultant en une valeur moyenne de 73 $\mu\text{g/L}$.

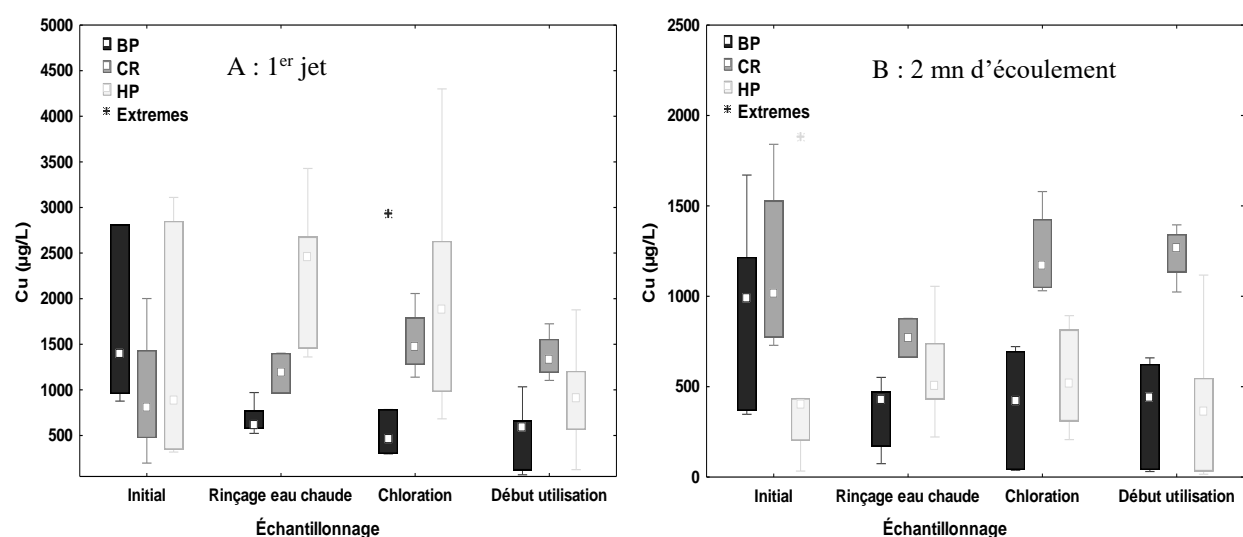


Figure 5-5 : Variation de la concentration de cuivre en fonction du type d'échantillon (A : 1^{er} jet, B : 2 mn d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau

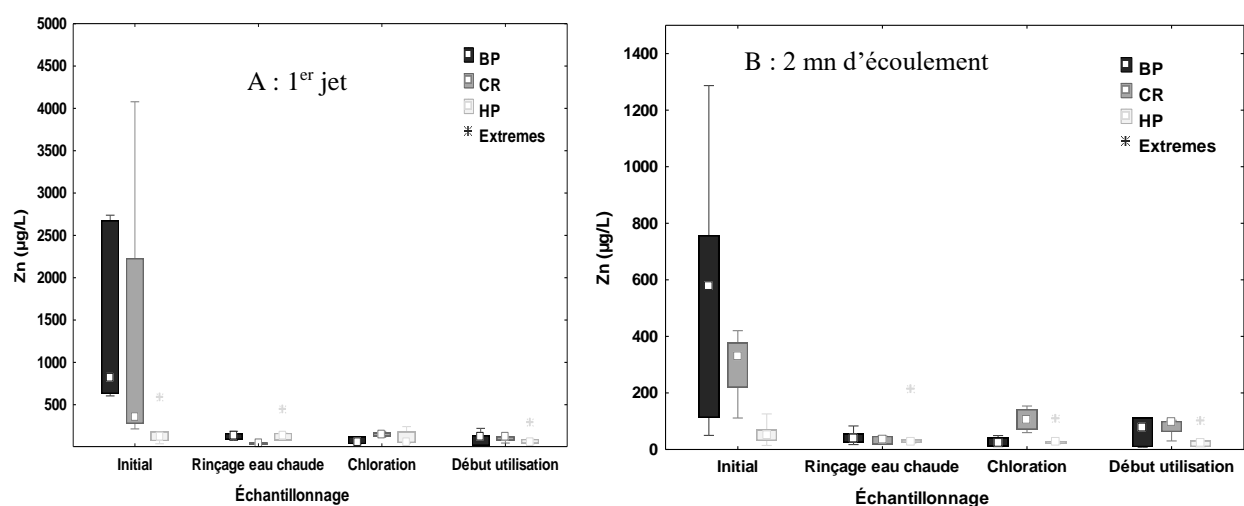


Figure 5-6 : Variation de la concentration de zinc en fonction du type d'échantillon (A : 1^{er} jet, B : 2 mn d'écoulement) et en fonction des différentes interventions effectuées sur le réseau

Ensuite, les valeurs de plomb mesurées étaient élevées dans tous des échantillons. La Figure 5-7 présente des valeurs élevées principalement pour les postes de lavage de main (PLM) au 1^{er} jet. Cela peut être associé aux valves mitigeurs des PLM ou encore à la présence de soudures ou de composants relargant du plomb. Par contre, les robinets à pédales ont une turbidité plus élevée au premier jet que les robinets conventionnels autant avant qu'après la désinfection thermique. Cette différence peut être liée à la présence d'eau chaude dans le 1^{er} jet ou encore à la contribution du mitigeur qui pourrait être plus difficile à bien rincer étant donné son architecture complexe. Il est recommandé de vérifier si ces turbidités élevées demeurent après 2 semaines d'utilisation et d'en investiguer la cause si c'est le cas (ex : vérifier la turbidité d'eau chaude à proximité de ces points).

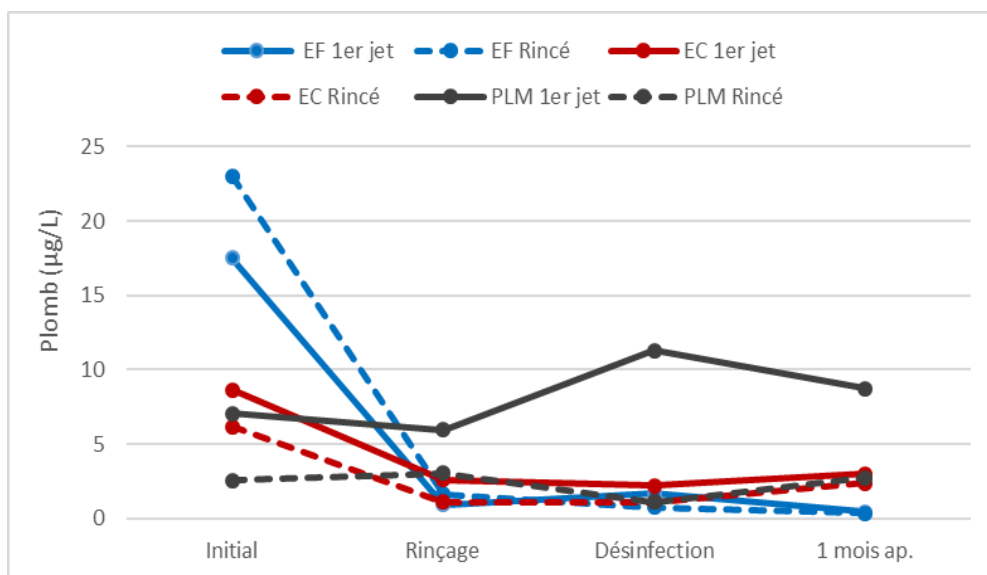


Figure 5-7 : Variation de la concentration de plomb en fonction des différents types d'eau (eau froide ou eau chaude), du type d'échantillon (1^{er} jet ou rincé) et du type de robinet (poste de lavage de main (PLM) ou manuel)

Finalement, le Tableau 5-5 présente les résultats obtenus à l'aide d'une régression adaptative à plusieurs variables (MARSpline). Ce tableau résume les variables indépendantes (catégoriques ou continues) utilisées pour prédire la variable dépendante (de réponse). Les variables significatives incluent toutes les variables qui ont été utilisées pour générer l'équation permettant de prédire la variable de réponse. L'importance de chacune des variables est fonction du nombre de termes dans lesquels elle est utilisée, noté entre parenthèses à côté de chaque variable significative énumérée. Le premier scénario inclut toutes les variables mesurées et le résultat suggère que les BHA sont le plus fortement prédits par la présence de bactéries totales, de particules et d'oxygène dissous. Étant donné les conditions idéales dans les conduites (absence de chlore résiduel, température pièce et présence de carbone organique), il est probable qu'il y ait une forte relation entre les bactéries cultivables et totales ainsi que l'oxygène dissous. Le scénario 2 reprend les mêmes variables, mais en excluant les bactéries viables et totales, ainsi que l'oxygène dissous. Dans ce scénario, c'est la concentration de cuivre, le type de robinet et le type d'échantillon qui ont le plus grand impact avec un R^2 de 0,71. De plus, la température, la conductivité, la turbidité et la concentration de chrome influencent aussi la concentration de BHA dans l'eau. Le cuivre quant à lui est fortement lié à la turbidité et à la concentration en métaux (zinc, fer et chrome). La concentration en bactéries totales est fonction de la concentration de zinc, la turbidité, la conductivité et le réseau (HP, BP ou CR).

En effet, tel que discuté dans ce mémoire, la présence de pâte à souder contenant entre autres du zinc a contribué à favoriser la croissance de bactéries dans le réseau et l'augmentation de la turbidité. Finalement, les résultats d'analyse pour la prédiction de la turbidité suggèrent l'impact important du cuivre et du plomb).

Tableau 5-5 : Résultats d'une régression adaptative à plusieurs variables (Réseau principal : réseau HP, BP, CR, Type robinet : manuel ou à pédale, Type d'échantillon : 1^{er} jet ou rincé, Type d'eau : eau froide ou eau chaude, Interventions : conditions initiales du réseau, réseau rincé à l'eau chaude, réseau désinfecté au chlore ou réseau en utilisation)

	Variables incluses dans l'analyse		Variables de sorties		
	Variables catégoriques	Variables continues	Variable de réponse	Variables significatives	R ²
Scénario 1	Réseau principal, Type de robinet, Type d'échantillon, Type d'eau	Température, Cl ₂ libre et Cl ₂ total, pH, Conductivité, O.D., Turbidité, Particules, COT, Alcalinité, Bactéries viables et totales, Chrome, Cuivre, Fer, Plomb et Zinc	BHA	Bactéries totales (9), Particules (7), O.D. (7), Bactéries viables (5), Fe (4), Cl ₂ total (3), Zn (2), Type d'eau (2), Cr (1), Cu (1), Conductivité (1), Réseau principal (1)	0,87
Scénario 2	Réseau principal, Type de robinet, Type d'échantillon, Type d'eau	Température, Cl ₂ libre et Cl ₂ total, pH, Conductivité, Turbidité, Particules, COT, Alcalinité, Chrome, Cuivre, Fer, Plomb et Zinc	BHA	Cu (6), Type de robinet (3), Type d'échantillon (3), Température (2), Conductivité (2), Turbidité (1), Cr (1)	0,71
Scénario 3	Réseau principal, Type de robinet, Type d'échantillon, Type d'eau, Interventions	Température, Cl ₂ libre et Cl ₂ total, pH, Conductivité, O.D., Turbidité, Particules, COT, Alcalinité, Chrome, Fer, Plomb et Zinc	Cuivre	Turbidité (7), Zn (4), Fe (3), Cr (2), Interventions (1), Type d'échantillon (1), Réseau principal (1)	0,91
Scénario 4	Réseau principal, Type de robinet, Type d'échantillon, Type d'eau, Interventions	Température, Cl ₂ libre et Cl ₂ total, pH, Conductivité, O.D., Turbidité, Particules, COT, Alcalinité, Chrome, Cuivre, Fer, Plomb et Zinc	Bactéries totales	Zinc (5), Turbidité (5), Conductivité (5), Réseau principal (5), pH (2), Pb (1), Alcalinité (1), Type d'échantillon (1)	0,90
Scénario 5	Réseau principal, Type de robinet, Type d'échantillon, Type d'eau, Interventions	Température, Cl ₂ libre et Cl ₂ total, pH, Conductivité, O.D., COT, Alcalinité, BHA, Bactéries viables et totales, Chrome, Cuivre, Fer, Plomb et Zinc	Turbidité	Cu (10), Pb (7), Alcalinité (7), Cl ₂ total (6), Fe (4), Température (2), pH (1)	0,96

CHAPITRE 6 PROCÉDURE D'ENLÈVEMENT DE FILTRES DISTAUX

Ce chapitre présente les résultats obtenus lors de l'évaluation de la procédure d'enlèvement de filtres distaux.

6.1 Caractérisation des douches

Dans le centre hospitalier, deux types de douches différentes sont installées. Il y a tout d'abord des douches dont le pommeau est fixe et ne peut pas être manipulé par les patients (Figure 6-1 a). Ce modèle est très répandu dans l'hôpital et il consiste en un coude vissé dans le mur et une tuyauterie interne reliant la douche au mitigeur. Il y a aussi des douches téléphones dont le pommeau peut être aisément manipulé (Figure 6-1 b).

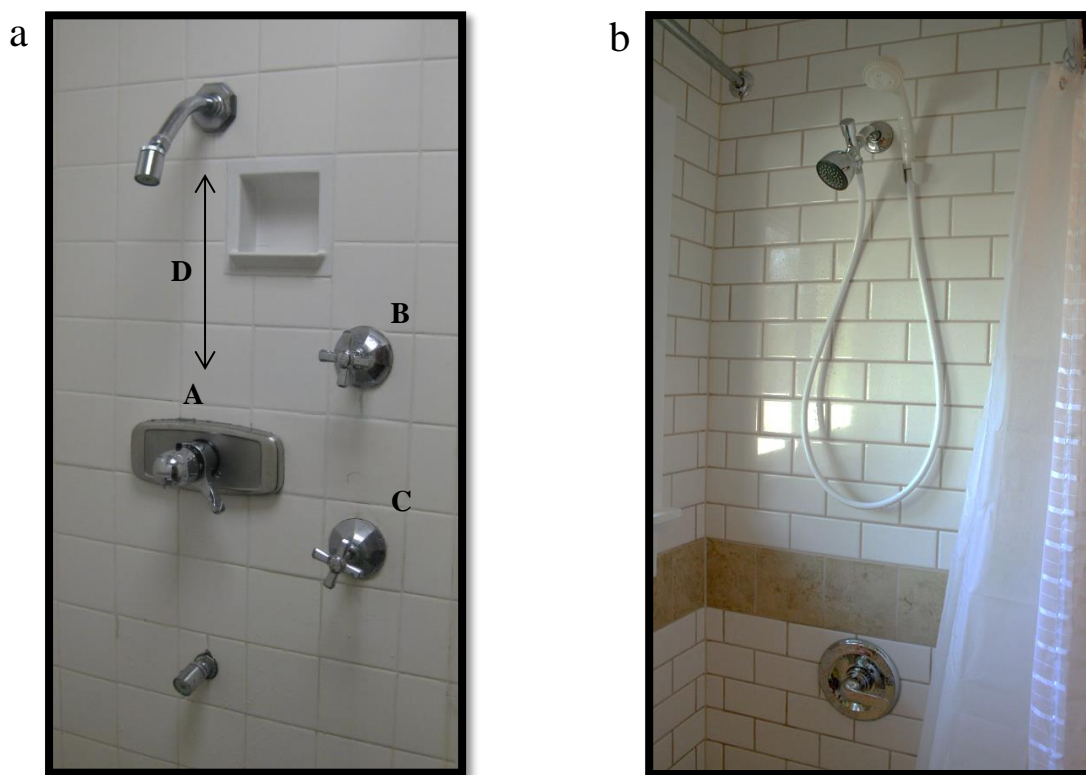


Figure 6-1 : Douche régulière (a) et douche téléphone (b) (A : Valve de mélange
B : Valve pour le pommeau supérieur C : Valve pour pommeau inférieur D :
Tuyauterie interne)

Le volume d'eau dans la tuyauterie interne de la douche et dans le tuyau de la douche téléphone est un mélange d'eau chaude et d'eau froide. Lorsque cette eau stagne dans les conduites, il s'agit d'un milieu idéal pour la croissance de bactéries d'où l'importance de conserver des valeurs élevées de température en eau chaude.

6.2 Évaluation de l'efficacité de 2 procédures de nettoyage après enlèvement des filtres distaux

En premier lieu, il est important de noter la pertinence d'effectuer le nettoyage de la conduite derrière le filtre. Il est possible de constater dans le Tableau 5-1 que les valeurs de BHA sont plus élevées d'en moyenne 2 log lorsque l'on retire le filtre.

Tableau 6-1 : Valeur moyenne telles que mesurées pour les six douches échantillonnées

	Avec filtre	1 ^{er} jet sans filtre
<i>BHA (UFC/ml)</i>	± 25	± 1 434
<i>Bactéries Viables (Bact./ml)</i>	± 1 886	± 4 873
<i>Bactéries Totales (Bact./ml)</i>	± 9 181	± 73 166

Les comptes de bactéries viables et totales sont eux aussi plus élevés lorsque l'on retire le filtre. Les valeurs plus élevées mesurées sans le filtre démontre qu'il est possible que de l'accumulation de bactérie se produise derrière un filtre. Ainsi, une procédure de nettoyage est souhaitable avant le retrait du filtre afin d'assurer la qualité de l'eau dans la douche.

Un essai de la procédure de désinfection a été effectué sur deux douches. La douche 1 est une douche téléphone et la douche 2 est une douche régulière. Deux procédures de nettoyage différentes ont été employées car la nécessité de chlorer les conduites pour réduire la charge bactérienne devait être testée :

- Douche 1 : Le tuyau flexible extérieur est retiré, le mitigeur est réglé à sa température maximale, un rinçage à l'eau chaude durant 60 minutes est effectué et finalement un nouveau tuyau flexible et un nouveau connecteur sont installés.

- Douche 2 : Le tuyau en coude est retiré, l'eau de la conduite dans le mur est aspirée, une solution de chlore à 25 ppm est ajoutée dans la conduite pour 60 minutes, un rinçage est effectué durant 5 minutes avec l'ancien tuyau en coude, un nouveau coude est installé et un rinçage à l'eau chaude est effectué durant 60 minutes.

Le Figure 6-2 présente l'ensemble des paramètres qui ont été mesurés lors de l'évaluation de la procédure de désinfection. La première ligne présente les résultats obtenus lors de la campagne d'échantillonnage du mois de janvier qui s'est déroulée dans l'ensemble du bâtiment avant qu'ait lieu le projet des douches et avant le changement de température dans le réseau du centre hospitalier dont il est question dans l'article mentionné dans l'introduction (Boppe et al., 2016). Les résultats montrent qu'une faible contamination en *L. pneumophila* (*Lp*) a été mesurée au 1^{er} jet sans le filtre de la douche 1 mais aucune contamination n'est mesurée suivant la procédure de nettoyage. En comparaison, cette douche avait une concentration de 5200 UFC/L lors de l'échantillonnage de janvier 2016. Pour l'ensemble des données, une amélioration de la qualité de l'eau a été observée depuis janvier 2016, principalement pour *Lp* et la température de l'eau chaude.

Tableau 6-2 : Résumé des paramètres mesurés pour l'évaluation de la procédure d'enlèvement des filtres Pall

#	Local	Type d'échantillon	Type de douche	Temp (°C)	Cl ₂ rés (mg/L)	Cl ₂ tot (mg/L)	Turbidité (UTN)	BHA (Bact/mL)	Viabiles (Cell/mL)	Totales (Cell/mL)	L. spp (UFC/L)	<i>Lp</i> (UFC/L)	Sg
1	4326	1er jet, 18/01/16	Téléphone	33,9	0,02	0,05	0,25	-	-	-	<10	5 200	1,2-15
1	4326	Avec filtre	Téléphone	42,2	0,03	0,15	0,52	119,5	8267	44 000	-	-	-
		1er jet sans filtre		43,8	0,09	0,2	1,09	5	1 908	77 000	<10	30	2-15
		30 min - T°		54,1	0,03	0,14	0,24	0,01	3 400	40 000	<10	<10	-
		60 min - T°		51,5	0,02	0,1	0,57	0,025	3 603	44 090	-	-	-
2	4302 (4305)	1er jet sans filtre	Fixe	41,5	0,04	0,11	0,34	8 550	9 500	100 000	<10	<10	-
		30 min - Cl ₂ & T°		58,2	0,05	0,09	0,39	0,015	2 300	41 000	<10	<10	-
		60 min - Cl ₂ & T°		58,1	0,09	0,18	0,51	0,025	2 300	43 000	-	-	-

En premier lieu, les deux méthodes de nettoyage ont entraîné une baisse importante de près de 4 log de bactéries cultivables après 30 minutes de rinçage. La Figure 6-2 présente cette diminution. Les comptes de bactéries totales et viables diminuent globalement eux aussi mais de façon moins marquée.

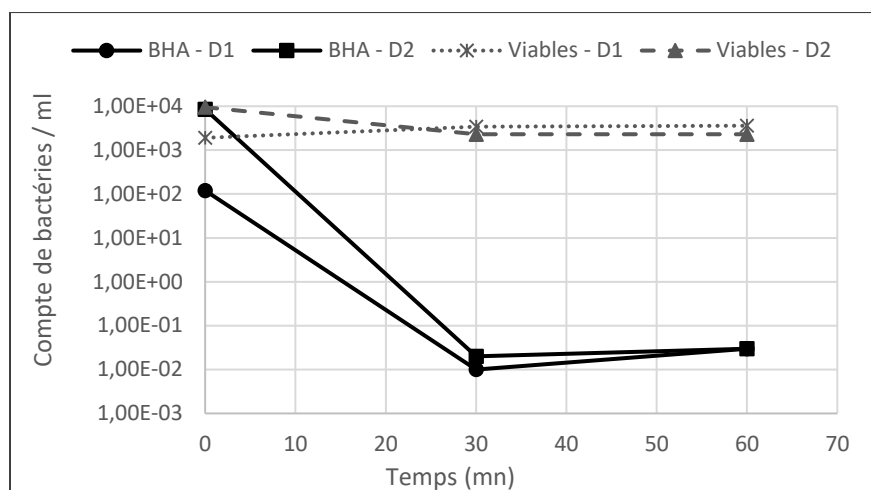


Figure 6-2 : Compte de BHA et de bactéries viables en fonction du temps pour les deux douches échantillonnées

Les BHA mesurés avec le filtre pour la douche 1 sont plus élevés que sans le filtre. Cela peut s'expliquer par une contamination externe du pommeau de la douche téléphone. Cette contamination peut se produire lorsque le patient l'utilise pour laver des zones du corps où l'eau potentiellement contaminée peut retomber sur le pommeau ou encore lorsque le pommeau de douche entre en contact avec l'eau accumulée dans le fond de la douche. Le pommeau peut être contaminé par les éclaboussures provenant du drain, générées par le contact du jet d'eau dans le fond de la douche. En effet, Hota et al. (2009) a démontré que des microorganismes viables peuvent se retrouver dans le biofilm présent dans le drain d'un lavabo et lorsqu'une personne se lave les mains, les éclaboussures peuvent atteindre un mètre de distance.

Il est donc possible de conclure que les deux méthodes sont aussi efficaces l'une que l'autre. De plus, les résultats suggèrent qu'un rinçage de 30 min à plus de 55°C était suffisant pour observer une réduction d'au moins 3 logs en BHA. Il a donc été choisi de procéder avec un rinçage à l'eau chaude ($T > 55^{\circ}\text{C}$) durant 30 minutes étant donné que les résultats sont équivalents à ceux après rinçage d'une heure pour optimiser le temps de la procédure et les quantités d'eau chaude utilisées. De plus, il a été choisi de ne pas faire une désinfection au chlore en plus de la désinfection thermique, étant donné la difficulté d'exécution de cette étape et la similarité des résultats obtenus avec ou sans chloration. La méthode choisie est plus simple à mettre en place et elle est plus facile à compléter pour le technicien sur le terrain.

6.3 Mise en place de la procédure de nettoyage après enlèvement des filtres distaux

La méthode de nettoyage choisie a été appliquée à 4 douches (D3 à D6). L'efficacité du nettoyage a été évaluée au moyen de prélèvements pris en séquence dans le premier 30 minutes d'écoulement, 24h et 1 mois après le nettoyage. Au total, 7 échantillons ont été prélevés par douche pour les douches 3, 4, 5 et 6. De ces échantillons, aucun résultat positif pour *P. aeruginosa* n'a été mesuré et un seul positif pour *L. pneumophila* a été mesuré après 5 minutes de rinçage pour la douche 5. Le niveau mesuré était faible, soit 110 NPP/L (Nombre le Plus Probable), et se trouve sous le seuil recommandé en France dans l'eau des douches, qui est de < 250 UFC/L (Castex & Houssin, 2005). En comparaison, cette douche avait une valeur de 4800 UFC/L en janvier, avant l'optimisation de l'hydraulique et de la température.

La qualité physico-chimique de l'eau était stable pendant la procédure de nettoyage avec des valeurs moyenne de 334 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ pour la conductivité, la valeur moyenne de chlore total était de 0,10 mg/L et la valeur moyenne de chlore libre tel que mesuré dans l'eau chaude était de 0,03 mg/L. Puisque les échantillons sont prélevés dans l'eau chaude, la concentration de chlore résiduel est faible et n'a pas d'impact sur la qualité de l'eau mesurée. Par contre, une légère hausse de la turbidité a été observée après l'enlèvement du filtre et ce, malgré la procédure de nettoyage. Les résultats présentés dans la Figure 6-3 incluent l'ensemble des analyses qui ont été effectuée pour les six douches ayant subi la procédure de nettoyage (D1 à D6). La figure présente la variation de la turbidité en fonction des volumes prélevés. Il est possible de constater que des valeurs de turbidité plus élevées ont été obtenues lors du 1^{er} jet et après une minute de rinçage ce qui peut être causé par le détachement de biofilm qui se trouvait derrière le filtre. Aussi, les valeurs de turbidité mesurées un mois après le nettoyage sont faibles ce qui suggère une amélioration de la qualité de l'eau.

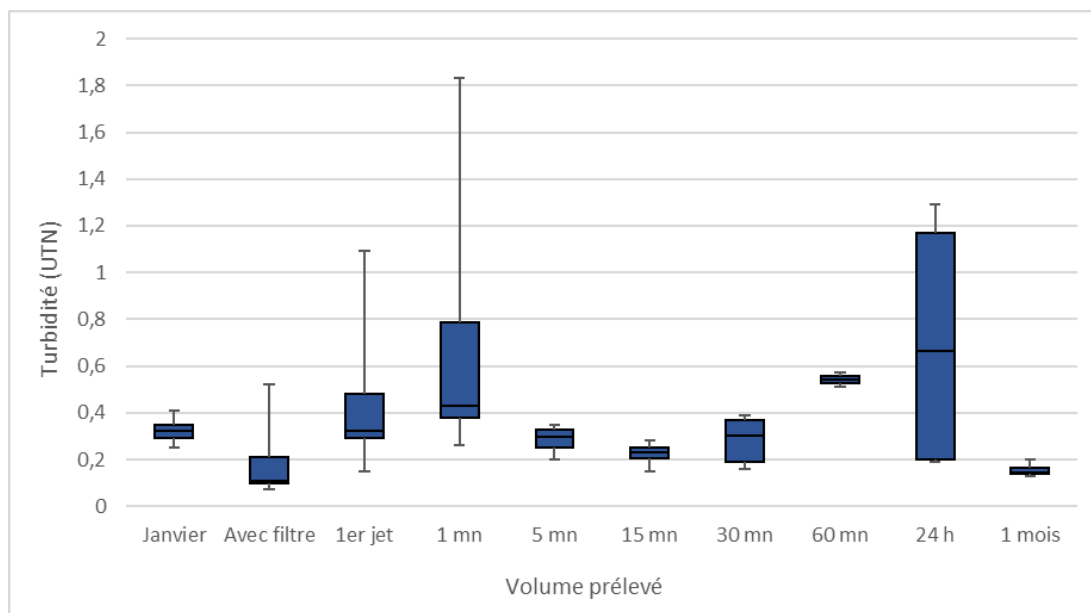


Figure 6-3 : Variation de la turbidité en fonction des échantillons qui ont été prélevés (Les extrémités des moustaches présentent les valeurs maximales et minimales mesurées. Les extrémités des boîtes présentent les 25^e et 75^e percentile et la ligne noire dans les boîtes présente la médiane des données)

La Figure 6-4 présente la variation des BHA en UFC/ml en fonction des différents volumes qui ont été analysés pour les six douches étudiées (D1 à D6). Il est possible de constater une diminution marquée de 2 à 5 log de la concentration de BHA depuis l'échantillonnage effectué en janvier. Cette baisse peut être attribuée à l'optimisation hydraulique et des températures qui a été effectuée dans le bâtiment. De plus, la concentration de BHA un mois après l'enlèvement des filtres Pall demeure à des niveaux considérés normaux dans des réseaux d'eau chaude de grands bâtiments. D'après (Cristina et al., 2014), la valeur moyenne telle que mesurée à 32 000 points au 1^{er} jet est de 422 UFC/ml en eau chaude.

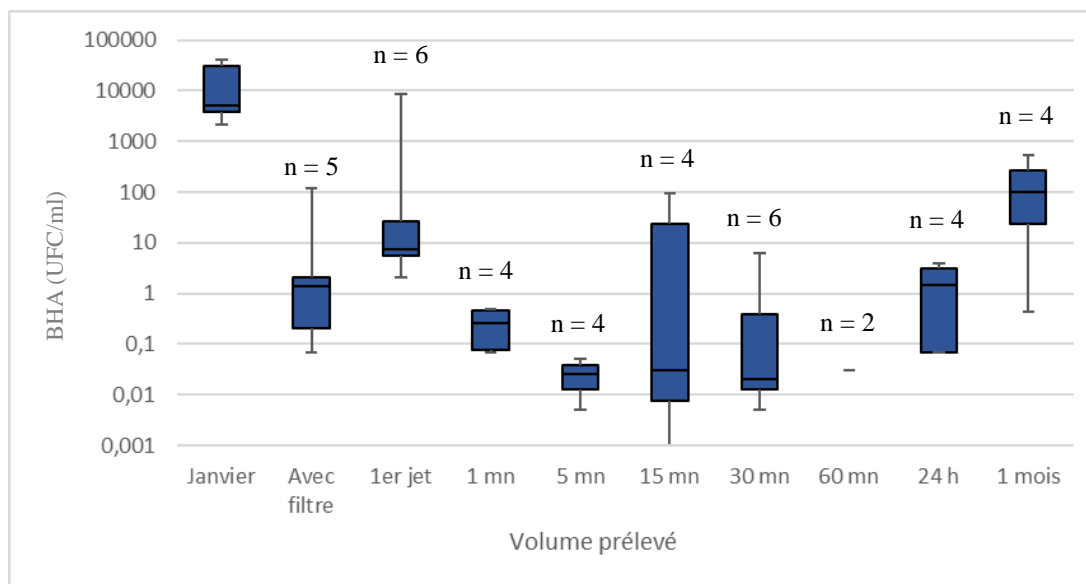


Figure 6-4 : Variation des BHA en fonction des échantillons qui ont été prélevés

Il est possible de constater que les concentrations de bactéries totales et viables restent assez élevées malgré la procédure de nettoyage (Figure 6-5). En considérant la diminution marquée des BHA, il est possible de conclure que la hausse de température dans le réseau d'eau chaude de l'hôpital permet d'inhiber la cultivabilité des bactéries mais elle n'est pas suffisante pour les éliminer. Ainsi, il est important de maintenir la température élevée dans le réseau pour éviter une nouvelle croissance de légionelle (Boppe et al., 2016).

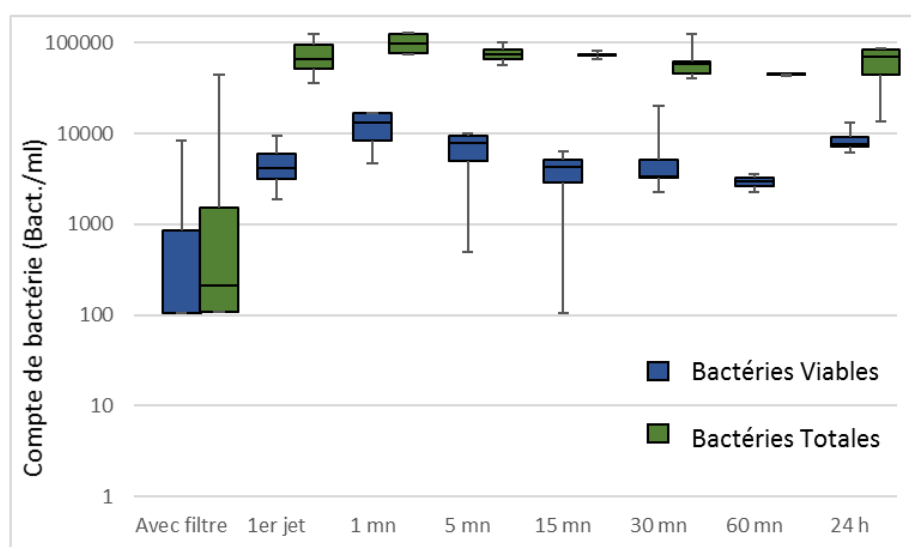


Figure 6-5 : Compte de bactéries totales et viables en fonction des volumes prélevés sur une échelle logarithmique

La Figure 6-6 présente la variation de la quantité de *L. pneumophila* mesurée à différents temps lors de l'enlèvement des filtres par la méthode qPCR tel qu'expliqué au Chapitre 4 Méthodologie. La limite de détection de cette méthode est de 40 UG/L et la limite de quantification est de 650 UG/L. Puisque l'ensemble des résultats se trouvent sous la limite de quantification et près de la limite de détection, il est difficile de conclure sur cette figure. Par contre, l'absence de *Lp* dans les échantillons avec le filtre sont cohérents puisque l'objectif de l'utilisation de filtre est d'empêcher le passage des bactéries pathogènes. Ensuite, il semble y avoir une tendance à la baisse dans le temps ce qui est ce qui est attendu vu les travaux d'optimisation hydraulique et de hausse des température effectué dans ce bâtiment (Boppe et al., 2016).

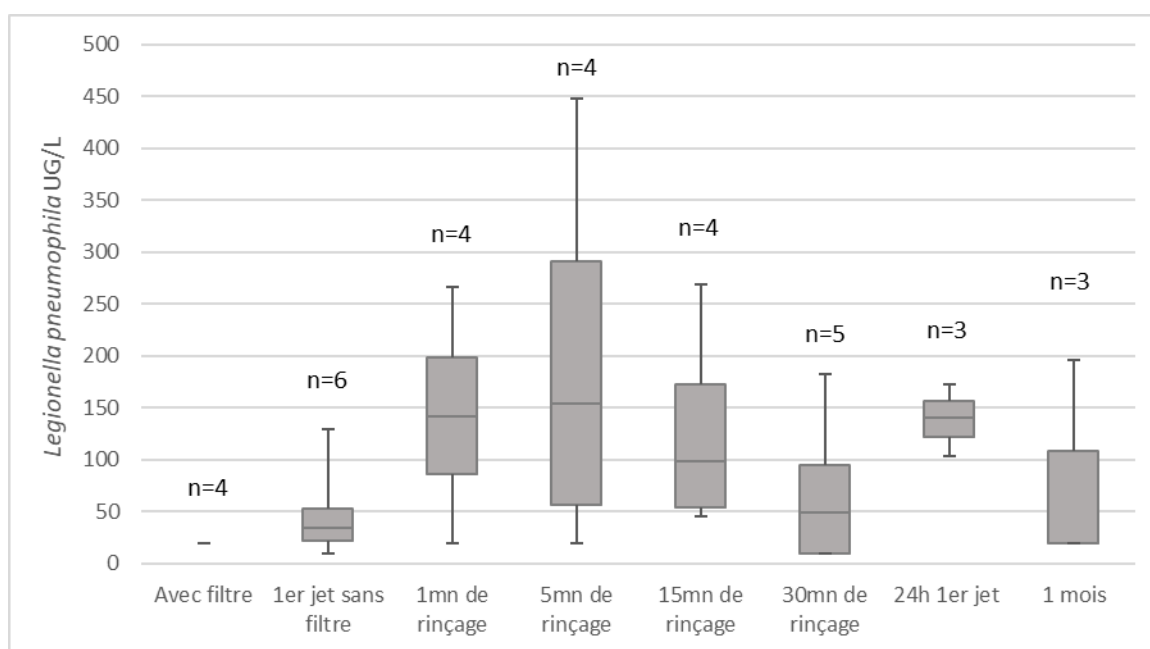


Figure 6-6 : Variation de la quantité de *L. pneumophila* (UG/L) mesuré aux douches lors de la procédure d'enlèvement des filtres (Les extrémités des moustaches présentent les valeurs maximales et minimales mesurées. Les extrémités des boîtes présentent les 25^e et 75^e percentile et la ligne noire dans les boîtes présente la médiane des données)

CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce projet de recherche visait à comparer différentes approches de gestion des réseaux d'eau autant lors de la mise en service d'un nouvel hôpital que dans un hôpital existant. Il est important d'effectuer un suivi de la qualité de l'eau dans un grand bâtiment par des échantillonnages réguliers à des endroits stratégiques du réseau. C'est d'autant plus important lorsqu'il s'agit d'un établissement de santé à cause de la présence de personnes à risques. Une attention particulière doit être portée lors de la mise en service d'un nouveau grand bâtiment ou encore lors de travaux ou agrandissement entraînant une modification de l'hydraulique des réseaux d'eaux de l'hôpital ou du grand bâtiment.

Les résultats obtenus tout au long du suivi de la mise en service des réseaux d'eau du nouveau bâtiment ont permis de constater une amélioration de la qualité de l'eau en fonction des interventions. Cependant, l'approche de gestion des réseaux d'eau lors de la mise en service influence l'évolution de la qualité d'eau. Le réseau BP est ressorti comme celui maintenant la meilleure qualité d'eau tout au long de la mise en service et après le début de l'occupation. Ce réseau a été mis en eau après la prise de possession par les gestionnaires de l'hôpital et des rinçages hebdomadaires à tous les points ont été faits rapidement après la mise en eau. Le réseau CR, qui n'avait jamais été rincé pendant cette même période avait une contamination microbiologique et physico-chimique plus importante que les deux autres réseaux. Les valeurs sont demeurées plus élevées par la suite, malgré des interventions de rinçage à l'eau chaude et de désinfection identiques dans tous les réseaux.

Ensuite, les résultats de l'évaluation de la procédure de nettoyage démontrent que pour les deux douches (D1 et D2), la procédure de nettoyage a permis de réduire les BHA, les cellules totales et les cellules viables.

À la lumière des résultats obtenus, plusieurs recommandations peuvent être émises pour la mise en service de réseaux d'eau de grands bâtiments :

1. Choix de la pâte à souder pour la tuyauterie en cuivre

Le choix de pâte à souder utilisée pour la soudure des conduites en cuivre était un des principaux facteurs ayant mené à la dégradation de la qualité d'eau. La pâte à souder utilisée, à base de produits pétroliers, est spécifiquement interdite d'utilisation dans les réseaux d'eau potable depuis 2008 par

la RBQ (ASTMB813) (Régie du bâtiment du Québec (RBQ) 2014) et le code de plomberie. Ce produit augmente les risques de corrosion, peut augmenter la concentration de cuivre au-delà des normes recommandées (1 mg/L Cu) et entraîne une détérioration de la qualité microbiologique de l'eau, particulièrement une prolifération des BHA. Il est recommandé de spécifier le type de pâte à souder à utiliser dès l'étape de la conception.

2. Nettoyage des réseaux dès le début de la mise en eau

L'absence de procédures de nettoyage, rinçage et de désinfection systématiques pendant la mise en route initiale du bâtiment par l'entrepreneur avant son transfert aux gestionnaires de l'hôpital a eu un impact au niveau de la qualité d'eau du réseau HP, malgré des rinçages hebdomadaires par la suite. Un rinçage à haut débit lors de la mise en eau initiale des réseaux d'eau froide et chaude est recommandé. Une procédure détaillée et standardisée pour la mise en route des nouveaux bâtiments est souhaitable. Ainsi, cette procédure pourra être planifiée dès le départ, avant même le début de la construction. Il est aussi recommandé d'éviter que les dispositifs, par exemple les robinets, soient alimentés par l'eau du réseau avant que ce dernier ne soit rincé et désinfecté.

3. Procédure de rinçage et de désinfection lors de la période d'inutilisation des réseaux d'eau froide et d'eau chaude

Tout d'abord, en absence d'une chloration d'appoint, il est recommandé d'effectuer une purge complète du réseau au minimum une fois par semaine et de maintenir le réseau d'eau chaude aux températures du réseau d'eau froide afin de minimiser les conditions favorables à la croissance des microorganismes. Il est aussi recommandé de considérer une chloration d'appoint pendant la période d'inutilisation, qui permettrait de maintenir un résiduel de chlore et ainsi minimiser la formation de biofilm dans les conduites. Il n'est pas recommandé de chauffer l'eau du réseau d'eau chaude pendant la période d'inoccupation du bâtiment puisque l'eau ne circulera pas et ainsi les températures ne seront pas maintenues. Cela augmenterait les risques de croissance de *Legionella pneumophila*. De plus, un résiduel de chlore sera plus difficile à maintenir dans l'eau chaude que dans l'eau froide. Ainsi, le réseau d'eau chaude devra être alimenté par l'eau froide qui aura subi la chloration d'appoint. Enfin, un suivi physico-chimique de l'eau ponctuel pendant la période d'inutilisation permettrait de suivre l'évolution de la qualité d'eau.

4. Désinfection des réseaux avant l'occupation

Il est recommandé de procéder à une désinfection des réseaux d'eau juste avant le début d'occupation par les patients. Une désinfection au chlore à une concentration de 20 mg/L pour une durée de 12 heures est recommandée dans certains guides pour nettoyer les conduites. Dans tous les cas, une bonne concentration et un bon temps de contact sont nécessaires. Le résiduel de chlore à la fin de la désinfection devra être évalué aux points les plus éloignés du système pour déterminer le succès de la désinfection. Un rinçage à haut débit et température élevée est recommandé avant la chloration si la turbidité et les particules sont élevés dans l'eau du réseau et au premier jet.

5. Procédure de nettoyage lors de l'enlèvement de filtres distaux

Il est recommandé de procéder à un nettoyage suivant la méthodologie employée pour la douche 1 soit un rinçage à l'eau chaude (temp. $\geq 55^{\circ}\text{C}$) pendant 30 minutes combiné à un changement la tuyauterie externe à proximité du pommeau de douche et à l'installation d'un pommeau de douche neuf. Cette méthode a été sélectionnée parce qu'en plus de donner les résultats attendus, elle est simple à mettre en place par les techniciens et elle est plus rapide à compléter. De cette manière, un bon rinçage et une désinfection thermique sont effectués pour le mitigeur et pour la tuyauterie d'amenée. Le choix d'un type de pommeau limitant la prolifération de légionelles est aussi très important.

6. Désinfection des pommeaux de douches de chambres entre les patients

Compte tenu des résultats obtenus, il a été recommandé d'instaurer une pratique de désinfection des pommeaux de douches entre chaque patient étant donné les résultats de BHA observés avant l'enlèvement du filtre de la douche 1 qui pourrait être causés par une contamination externe du pommeau de douche, tel qu'observé pour la douche téléphone. La mise en place d'une procédure de désinfection du pommeau de douche entre les patients a été recommandée aux gestionnaires du bâtiment afin de minimiser les risques de contamination externe du pommeau de douche.

7. Suivi du maintien de la qualité d'eau dans le bâtiment existant

D'après les résultats obtenus lors de l'enlèvement des filtres, la contamination du réseau a largement diminué depuis le changement de température mais la détection de *L. pneumophila* après 5 minutes de rinçage suggère une faible contamination résiduelle dans le réseau. Ainsi, il est recommandé de faire un échantillonnage de suivi des points échantillonnés en juin 2016 afin de s'assurer du maintien de la qualité de l'eau et du contrôle de la concentration de légionelle. De

plus, il est important de maintenir les températures élevées dans l'ensemble du réseau afin d'éviter une croissance bactérienne.

8. Mise en place d'un plan de sécurité de l'eau

Il est recommandé d'établir un plan de suivi de qualité d'eau par l'intermédiaire d'un plan de sécurité de l'eau (Water Safety Plan). L'implantation d'un plan de gestion et de sécurité de l'eau dans les grands bâtiments (Water Safety Plan (WSP)) est fortement recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé World Health Organisation (WHO) (2014); (World Health Organization (WHO), 2011b). Les WSP offrent un moyen efficace d'assurer la qualité de l'eau froide et d'eau chaude dans les réseaux grâce à une approche globale de gestion du risque. L'approche du WSP est basée sur l'identification de tous les risques importants pour les patients, la mise en place et l'application de contrôles efficaces et de barrières pour minimiser les risques à des niveaux acceptables et le suivi de l'efficacité des contrôles pour s'assurer que la qualité de l'eau est maintenue dans le temps. Le WSP devra aussi prendre en compte l'historique de la contamination lors de la mise en route du nouveau bâtiment, des caractéristiques particulières à ce bâtiment (ex : la conception du réseau plomberie) ainsi que de la vulnérabilité des patients. Lors de la mise en place du WSP, il est recommandé de considérer l'installation d'une chloration d'appoint à l'entrée d'eau principale. Cette recommandation s'applique tout autant au nouveau bâtiment qu'à l'hôpital existant.

Les résultats de ces travaux de recherche sont d'une grande importance pour l'amélioration de la conception et de la gestion des réseaux d'eau des grands bâtiments dans le futur afin de réduire les infections nosocomiales associées à l'eau. Ces résultats mèneront à la rédaction de deux articles et à plusieurs présentations qui permettront de diffuser les conclusions et recommandations obtenues.

BIBLIOGRAPHIE

- (USEPA), U. S. E. P. A. (1994). *Technical support document: parameters and equations used in the integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children (V0,99d)*. Retrieved from
- America Water Works Association (AWWA). (2014). Disinfecting water mains (Vol. ANSI/AWWA C651-14, pp. 40).
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater (21th Edition)*. Washington, DC, USA.
- Association Française de Normalisation (AFNOR). (2006). Recherche et dénombrement de *Legionella* spp et de *Legionella pneumophila* - Méthode par ensemencement direct et après concentration par filtration sur membrane ou centrifugation *Norme Française* (Vol. NF T 90-431/A1, pp. 11).
- ASTM International. (2010). Standard specification for liquid and paste fluxes for soldering of copper and copper alloy tube (Vol. Designation: B813-10, pp. 7). West Conshohocken, CO, USA.
- Bédard, E. (2015). *Operational factors influencing occurrence and risk exposure to Pseudomonas aeruginosa and Legionella pneumophila from hospital water systems*. (Ph.D. Ph.D.), Polytechnique Montréal, Montréal, QC, CANADA. Retrieved from <https://publications.polymtl.ca/1720/>
- Bédard, E., Boppe, I., Kouamé, S., Martin, P., Pinsonneault, L., Valiquette, L., . . . Prévost, M. (2016). Combination of heat shock and enhanced thermal regime to control the growth of a persistent *Legionella pneumophila* strain. *Pathogens*, 5(2), 35.
- Bédard, E., Charron, D., Lalancette, C., Déziel, E., & Prévost, M. (2014). Recovery of *Pseudomonas aeruginosa* culturability following copper- and chlorine-induced stress. *FEMS microbiology letters*, 1-9. doi:10.1111/1574-6968.12494
- Bédard, E., Charron, D., Lalancette, C., Laferrière, C., Prévost, M., & Déziel, É. (2015, Sept 8-12). *Is Pseudomonas aeruginosa occurrence in hospital water underestimated*. Paper presented at the ASM Conference on Pseudomonas, Washington, DC, USA.
- Bédard, E., Fey, S., Charron, D., Lalancette, C., Cantin, P., Dolcé, P., . . . Prévost, M. (2015). Temperature diagnostic to identify high risk areas and optimize *Legionella pneumophila* surveillance in hot water distribution systems. *Water Research*, 71, 244-256. doi:10.1016/j.watres.2015.01.006
- Bedard, E., Laferriere, C., Charron, D., Lalancette, C., Renaud, C., Desmarais, N., . . . Prevost, M. (2015). Post-outbreak investigation of *Pseudomonas aeruginosa* faucet contamination by quantitative polymerase chain reaction and environmental factors affecting positivity. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 1-7. doi:10.1017/ice.2015.168
- Bédard, E., Prévost, M., & Déziel, E. (2016). *Pseudomonas aeruginosa* in premise plumbing of large buildings. *Microbiologyopen*. doi:10.1002/mbo3.391

- Bédard, E., Taillandier, C., Mendis, N., Faucher, S. P., & Prévost, M. (2016, Nov 13-17). *Effect of copper on survival and culturability of premise plumbing-adapted Legionella pneumophila strains*. Paper presented at the American Water Works Association-Water Quality Technology Conference (WQTC), Indianapolis, IN, USA.
- Beyenal, H., Chen, S. N., & Lewandowski, Z. (2003). The double substrate growth kinetics of *Pseudomonas aeruginosa*. *Enzyme and Microbial Technology*, 32(1), 92-98. doi:Pii S0141-0229(02)00246-6
- Doi 10.1016/S0141-0229(02)00246-6
- Bonetta, S., Ferretti, E., Balocco, F., & Carraro, E. (2010). Evaluation of *Legionella pneumophila* contamination in Italian hotel water systems by quantitative real-time PCR and culture methods. *Journal of Applied Microbiology*, 108(5), 1576-1583.
- Boppe, I., Bédard, E., Taillandier, C., Lecellier, D., Nantel-Gauvin, M.-A., Villion, M., . . . Prévost, M. (2016). Investigative approach to improve hot water system hydraulics through temperature monitoring to reduce building environmental quality hazard associated to *Legionella*. *Building and Environment*, 108, 230-239. doi:10.1016/j.buildenv.2016.08.038
- Boulos, L., Prévost, M., Barbeau, B., Coallier, J., & Desjardins, R. (1999). LIVE/DEAD® BacLight™: application of a new rapid staining method for direct enumeration of viable and total bacteria in drinking water. *Journal of Microbiological Methods*, 37(1), 77-86.
- Breathnach, A. S., Cubbon, M. D., Karunaharan, R. N., Pope, C. F., & Planche, T. D. (2012). Multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* outbreaks in two hospitals: Association with contaminated hospital waste-water systems. *Journal of Hospital Infection*, 82(1), 19-24.
- British Standards Institution (BSI). (2011). *BS 8558:2011 Guide to the design, installation, testing and maintenance of services supplying water for domestic use within buildings and their curtilages – Complementary guidance to BS EN 806*: BSI
- Brousseau, N., Lévesque, B., Guillemet, T. A., Cantin, P., Gauvin, D., Giroux, J. P., . . . Dewailly, E. (2012). Contamination of public whirlpool spas: Factors associated with the presence of *Legionella spp.*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-15. doi:10.1080/09603123.2012.678001
- Brown, A. D. (1957). Some general properties of a Psychrophilic Pseudomonad: The effects of temperature on some of these properties and the utilization of glucose by this organism and *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of General Microbiology*, 17(3), 640-648.
- BSRIA. (2012). Pre-commission cleaning of pipework systems (Vol. BG 29/2012, pp. 116).
- Buse, H. Y., Lu, J., Struewing, I. T., & Ashbolt, N. J. (2014). Preferential colonization and release of *Legionella pneumophila* from mature drinking water biofilms grown on copper versus unplasticized polyvinylchloride coupons *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217(2-3), 219–225. doi:10.1016/j.ijheh.2013.04.005
- California Environmental Protection Agency, Pesticide and Environmental Toxicology Branch, & Office of Environmental Health Hazard Assessment. (2008). *Public health goals for copper in drinking water*. Retrieved from California:
- Canadian Association Association (CSA). (2015). Z317.1 Special requirements for plumbing installations in health care facilities (Vol. Draft standard 8, pp. 53). Toronto, ON, Canada.

- Castex, J., & Houssin, D. (Eds.). (2005). *L'eau dans les établissements de santé*. France: Ministère de la Santé et des Solidarités.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2011). *Legionellosis - United States, 2000-2009*. Retrieved from <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6032a3.htm>
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). (2012). *Guide technique - Maîtrise du risque de développement des légionelles dans les réseaux d'eau chaude sanitaire - Défaillances et préconisations*.
- Chaberny, I. F., & Gastmeier, P. (2004). Should electronic faucets be recommended in hospitals? *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 25(11), 997-1000.
- Charron, D., Bédard, E., Lalancette, C., Laferrière, C., & Prévost, M. (2015). Impact of electronic faucets and water quality on the occurrence of *Pseudomonas aeruginosa* in water: A multi-hospital study. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 36(3), 311-319. doi:10.1017/ice.2014.46
- Cholley, P., Thouverez, M., Floret, N., Bertrand, X., & Talon, D. (2008). The role of water fittings in intensive care rooms as reservoirs for the colonization of patients with *Pseudomonas aeruginosa*. *Intensive Care Medicine*, 34(8), 1428-1433. doi:10.1007/s00134-008-1110-z
- Ciesielski, C. A., Blaser, M. J., & Wang, W. L. (1984). Role of stagnation and obstruction of water flow in isolation of legionella pneumophila from hospital plumbing. *Applied and Environmental Microbiology*, 48(5), 984-987.
- Clark, B., Cartier, C., St. Clair, J., Triantafyllidou, S., Prevost, M., & Edwards, M. (2013). Effect of connection type on galvanic corrosion between lead and copper pipes *Journal of the American Water Works Association*, 105(10), E576-E586. doi:10.5942/jawwa.2013.105.0113
- Cristina, M. L., Spagnolo, A. M., Casini, B., Baggiani, A., Del Giudice, P., Brusaferrro, S., . . . Orlando, P. (2014). The impact of aerators on water contamination by emerging gram-negative opportunists in at-risk hospital departments. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 35(2), 122-129. doi:10.1086/674863
- Critchley, M. M., Cromar, N. J., McClure, N., & Fallowfield, H. J. (2001). Biofilms and microbially influenced cuprosolvency in domestic copper plumbing systems. *Journal of Applied Microbiology*, 91(4), 646-651.
- Demirjian, A., Lucas, C. E., Garrison, L. E., Kozak-Muiznieks, N. A., States, S., Brown, E. W., . . . Hicks, L. A. (2015). The Importance of clinical surveillance in detecting Legionnaires' disease outbreaks: A large outbreak in a hospital with a *Legionella* disinfection system—Pennsylvania, 2011–2012. *Clinical Infectious Diseases*. doi:10.1093/cid/civ153
- Department of Health (DH), & Estates and Facilities Division. (2006). *Water systems : health technical memorandum 04-01 : The control of Legionella, hygiene, "safe" hot water, cold water and drinking water systems. Part B: Operational management*. London, Great Britain: Department of Health.
- Deshommes, E., Nour, S., Richer, B., Cartier, C., & Prévost, M. (2012). POU devices in large buildings: Lead removal and water quality. *Journal of the American Water Works Association*, 104(4), E282-E297. doi:10.5942/jawwa.2012.104.0058

- Dwidjosiswojo, Z., Richard, J., Moritz, M. M., Dopp, E., Flemming, H.-C., & Wingender, J. (2011). Influence of copper ions on the viability and cytotoxicity of *Pseudomonas aeruginosa* under conditions relevant to drinking water environments. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(6), 485-492.
- Edwards, M., Arnold, R., Clark, B., Nguyen, C., Cartier, C., & Prévost, M. (2011, Jun 8-9). *Evaluating the long-term impacts of galvanic corrosion on lead release from service lines*. Paper presented at the Workshop CWN on Lead in Drinking Water: Health Impacts, Monitoring and Control, Montréal, QC, Canada.
- Edwards, M., Hidmi, L., & Gladwell, D. (2002). Phosphate inhibition of soluble copper corrosion by-product release. *Corrosion Science*, 44(5), 1057-1071.
- Edwards, M., Parks, J., Griffin, A., Raetz, M., Martin, A., Scardina, P., & Elfland, C. (2011). *Lead and copper corrosion control in new construction*. Retrieved from Denver, CO, USA: <http://www.awwa.org/store/productdetail.aspx?productid=28991>
- Elfland, C., Scardina, P., & Edwards, M. (2010). Lead-contaminated water from brass plumbing devices in new buildings. *Journal of the American Water Works Association*, 102(11), 66-76.
- Ferroni, A., Nguyen, L., Pron, B., Quesne, G., Brusset, M.-C., & Berche, P. (1998). Outbreak of nosocomial urinary tract infections due to *Pseudomonas aeruginosa* in a paediatric surgical unit associated with tap-water contamination. *Journal of Hospital Infection*, 39(4), 301-307.
- Fields, B. S. (1996). The molecular ecology of legionellae. *Trends in Microbiology*, 4(7), 286-290.
- Fields, B. S., Benson, R. F., & Besser, R. E. (2002). *Legionella* and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clinical Microbiology Reviews*, 15(3), 506-526.
- Garbe, P. I., Davis, B. J., Weisfeld, J. S., Marowitz, L., Miner, P., Garrity, F., . . . Reingold, A. L. (1985). Nosocomial legionnaires' disease: Epidemiologic demonstration of cooling towers as a source. *The Journal of American Medical Association*, 254(4), 521-524. doi:10.1001/jama.1985.03360040075028
- Geldreich, E. E. (1996). *Microbial quality of water supply in distribution systems*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Lewis Publishers.
- Giao, M. S., Wilks, S. A., & Keevil, C. W. (2015). Influence of copper surfaces on biofilm formation by *Legionella pneumophila* in potable water. *Biometals*, 28(2), 329-339. doi:10.1007/s10534-015-9835-y
- Gouvernement du Québec. (2008). *Code de construction du Québec. Chapitre III : Plomberie*. Retrieved from http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=B_1_1/B1_1R2.HTM.
- Gouvernement du Québec. (2010). *Guide d'intervention : la légionellose dans la communauté - Edition 2009*.
- Gouvernement du Québec. (2011). *Règlement sur la qualité de l'eau potable. Loi sur la qualité de l'environnement*. Québec, Canada: Éditeur officiel du Québec 2011.

- Government of South Australia, Health Protection Programs, Public Health Services, Public Health and Clinical Systems, Department for Health and Ageing, & On the recommendation of the Chief Public Health Officer. (2013). *Guidelines for the control of Legionella in manufactured water systems in South Australia 2008* (9781742435169). Retrieved from Rundle, Australia: <http://www.health.sa.gov.au/>
- Halabi, M., Wiesholzer-Pittl, M., Schöberl, J., & Mittermayer, H. (2001). Non-touch fittings in hospitals: a possible source of *Pseudomonas aeruginosa* and *Legionella* spp. *Journal of Hospital Infection*, 49(2), 117-121.
- Hargreaves, J., Shireley, L., Shannon, H., Bren, V., Gordon, F., Lacher, C., . . . Watne, T. (2001). Bacterial contamination associated with electronic faucets: a new risk for healthcare facilities *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 22(4), 202-205.
- Health and Safety Executive (HSE). (2013). *Legionnaires' disease: Technical guidance. Part 2: The control of Legionella bacteria in hot and cold water systems*. United Kingdom: HSE Books.
- Health Safety and Executive (HSE). (2013). *Legionnaires' disease: The control of Legionella bacteria in water systems. Approved code of practice and guidance on regulations*.
- Hota, S., Hirji, Z., Stockton, K., Lemieux, C., Dedier, H., Wolfaardt, G., & Gardam, M. A. (2009). Outbreak of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* colonization and infection secondary to imperfect intensive care unit room design. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 30(1), 25-33.
- International Organization for Standardization (ISO). (2006). *Qualité de l'eau - Échantillonnage pour analyse microbiologique* (Vol. ISO 19458, pp. 16).
- Katz, S. M., & Hammel, J. M. (1987). The effect of drying, heat, and pH on the survival of *Legionella pneumophila*. *Annals of Clinical & Laboratory Science*, 17(3), 150-156.
- Kerr, K. G., & Snelling, A. M. (2009). *Pseudomonas aeruginosa*: A formidable and ever-present adversary. *Journal of Hospital Infection*, 73(4), 338-344. doi:10.1016/j.jhin.2009.04.020
- Kirschke, D. L., Jones, T. F., Craig, A. S., Chu, P. S., Mayernick, G. G., Patel, J. A., & Schaffner, W. (2003). *Pseudomonas aeruginosa* and *Serratia marcescens* contamination associated with a manufacturing defect in bronchoscopes. *New England Journal of Medicine*, 348(3), 214-220. doi:10.1056/NEJMoa021791
- Kotsanas, D., Brett, J., Kidd, T. J., Stuart, R. L., & Korman, T. M. (2008). Disinfection of *Burkholderia cepacia* complex from non-touch taps in a neonatal nursery. *Journal of Perinatal Medicine*, 36(3), 235-239. doi:10.1515/JPM.2008.038
- Leclerc, H., Schwartzbrod, L., & Dei-Cas, E. (2002). Microbial agents associated with waterborne diseases. *Critical Reviews in Microbiology*, 28(4), 371-409.
- Lehtola, M. J., Miettinen, I. T., Keinänen, M. M., Kekki, T. K., Laine, O., Hirvonen, A., . . . Martikainen, P. J. (2004). Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes. *Water Research*, 38(17), 3769-3779.

- Lehtola, M. J., Miettinen, I. T., Lampola, T., Hirvonen, A., Vartiainen, T., & Martikainen, P. J. (2005). Pipeline materials modify the effectiveness of disinfectants in drinking water distribution systems. *Water Research*, 39(10), 1962-1971.
- Lin, Y. E., Vidic, R. D., Stout, J. E., & Yu, V. L. (1998). *Legionella* in water distribution system. *Journal of the American Water Works Association*, 90(9), 112-121.
- Livni, G., Yaniv, I., Samra, Z., Kaufman, L., Solter, E., Ashkenazi, S., & Levy, I. (2008). Outbreak of *Mycobacterium mucogenicum* bacteraemia due to contaminated water supply in a paediatric haematology–oncology department. *Journal of Hospital Infection*, 70(3), 253-258.
- Mermel, L. A., Josephson, S. L., Giorgio, C. H., Dempsey, J., & Parenteau, S. (1995). Association of Legionnaires' disease with construction: contamination of potable water? *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 16(2), 76-81.
- Merrer, J., Girou, E., Ducellier, D., Clavreul, N., Cizeau, F., Legrand, P., & Leneveu, M. (2005). Should electronic faucets be used in intensive care and hematology units? *Intensive Care Medicine*, 31(12), 1715-1718. doi:10.1007/s00134-005-2824-9
- Loi sur la qualité de l'environnement, Qualité de l'eau potable, (2010).
- Ministère du Développement Durable de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP). (2005). *Règlement sur la qualité de l'eau potable*. Retrieved from Canada: http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/Q_2/Q2R18_1_1.htm
- Ministère du développement durable de l'environnement et lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2016). *Règlement sur la qualité de l'eau potable. Loi sur la qualité de l'environnement*. Retrieved from http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R40.HTM
- Murga, R., Forster, T. S., Brown, E., Pruckler, J. M., Fields, B. S., & Donlan, R. M. (2001). Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable-water system. *Microbiology*, 147(11), 3121-3126.
- Nhu Nguyen, T. M., Ilef, D., Jarraud, S., Rouil, L., Campese, C., Che, D., . . . Desenclos, J. C. (2006). A community-wide outbreak of legionnaires disease linked to industrial cooling towers—How far can contaminated aerosols spread? *Journal of Infectious Diseases*, 193(1), 102-111. doi:10.1086/498575
- Niquette, P., Servais, P., & Savoir, R. (2000). Impacts of pipe materials on densities of fixed bacterial biomass in a drinking water distribution system. *Water Research*, 34(6), 1952-1956.
- Olivares, M., Araya, M., Pizarro, F., & Uauy, R. (2001). Nausea threshold in apparently healthy individuals who drink fluids containing graded concentrations of copper. *Regulatory Toxicol and Pharmacology*, 33(3), 271-275. doi:10.1006/rtp.2000.1440
- Proctor, C. R., Gächter, M., Köttsch, S., Rölli, F., Sigrist, R., Walser, J.-C., & Hammes, F. (2016). Biofilms in shower hoses – choice of pipe material influences bacterial growth and

- communities. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2(4), 670-682. doi:10.1039/c6ew00016a
- Régie du bâtiment du Québec (RBQ). (2014). *Modifications du Québec applicables au Code national de la plomberie Canada 2010*. (Code de construction du Québec, chapitre III, Plomberie). Retrieved from <https://www.rbq.gouv.qc.ca/salle-de-presse/les-nouvelles/nouvelles-detail/item/entree-en-vigueur-de-la-nouvelle-edition-du-chapitre-plomberie-du-code-de-construction-du-quebec.html>.
- Reuter, S., Sigge, A., Wiedeck, H., & Trautmann, M. (2002). Analysis of transmission pathways of *Pseudomonas aeruginosa* between patients and tap water outlets. *Critical Care Medicine*, 30(10), 2222-2228.
- Revetta, R. P., Gomez-Alvarez, V., Gerke, T. L., Curioso, C., Santo Domingo, J. W., & Ashbolt, N. J. (2013). Establishment and early succession of bacterial communities in monochloramine-treated drinking water biofilms. *FEMS Microbiology Ecology*. doi:10.1111/1574-6941.12170
- Rogers, J., Dowsett, A. B., Dennis, P. J., Lee, J. V., & Keevil, C. W. (1994). Influence of temperature and plumbing materials selection on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in model potable water systems contaminating complex microbial flora. *Applied and Environmental Microbiology*, 60(5), 1585-1592.
- Rohr, U., Senger, M., Selenka, F., Turley, R., & Wilhelm, M. (1999). Four years of experience with silver-copper ionization for control of *Legionella* in a German University Hospital hot water plumbing system. *Clinical Infectious Diseases*, 29(6), 1507-1511. doi:10.1086/313512
- Rusin, P. A., Rose, J. B., Haas, C. N., & Gerba, C. P. (1997). Risk assessment of opportunistic bacterial pathogens in drinking water. In G. W. Ware (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (Vol. 152, pp. 57-83): Springer-Verlag.
- Santé Canada. (1999). *Résumé des recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*. Retrieved from Ottawa, Ontario, Canada: <http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection/H48-10-2000F.pdf>
- Santé Canada. (2003). *Résumé des recommandations canadiennes sur la qualité de l'eau potable*. Retrieved from Ottawa, Ontario, Canada: <http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/eau/pdf/sommaire.pdf>
- Santé Canada. (2010). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (Tableau sommaire)*. Retrieved from Ottawa, Ontario, Canada: http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/2010-sum_guide-res_recom/sum_guide-res_recom-fra.pdf
- Schock, M. R., Lytle, D. A., & Clement, J. A. (1995). *Effect of pH, DIC, orthophosphate, and sulfate on drinking water cuprosolvency* (EPA/600/R-95/085). Retrieved from Cincinnati, Ohio, USA: <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600R95085/effect.pdf>
- Steinert, M., Emody, L., Amann, R., & Hacker, J. (1997). Resuscitation of viable but nonculturable *Legionella pneumophila* Philadelphia JR32 by *Acanthamoeba castellanii*. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(5), 2047-2053.

- Stout, J. E., Lin, Y. S., Goetz, A. M., & Muder, R. R. (1998). Controlling *Legionella* in hospital water systems: experience with the superheat-and-flush method and copper-silver ionization. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 19(12), 911-994.
- Sydnor, E. R., Bova, G., Gimburg, A., Cosgrove, S. E., Perl, T. M., & Maragakis, L. L. (2012). Electronic-eye faucets: *Legionella* species contamination in healthcare settings. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 33(3).
- Sydnor, E. R. M., & Perl, T. M. (2011). Hospital Epidemiology and Infection Control in Acute-Care Settings. *Clinical Microbiology Reviews*, 24(1), 141-173.
- Trautmann, M., Lepper, P. M., & Haller, M. (2005). Ecology of *Pseudomonas aeruginosa* in the intensive care unit and the evolving role of water outlets as a reservoir of the organism. *American Journal of Infection Control*, 33(5, Suppl.), S41-S49.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1994). *Method 200.8 - Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma - mass spectrometry (Revision 5.4 - EMMC Version)*. Retrieved from Cincinnati, Ohio, USA: http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/200_8.pdf
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2000). *National primary drinking water regulations for lead and copper. Final rule* (40 CFR Parts 141 and 142). Retrieved from <http://www.google.ca/search?hl=fr&q=U.S.+EPA+%282000%29+40+CFR+Parts+141+and+142%2C+National+Primary+Drinking+Water+Regulations+for+Lead+and+Copper%3B&btnG=Recherche+Google&meta=>
- van der Kooij, D., Veenendaal, H. R., & Scheffer, W. J. H. (2005). Biofilm formation and multiplication of *Legionella* in a model warm water system with pipes of copper, stainless steel and cross-linked polyethylene. *Water Research*, 39(13), 2789-2798.
- Van der Mee-Marquet, N., Bloc, D., Briand, L., Besnier, J. M., & Quentin, R. (2005). Non-touch fittings in hospitals: A procedure to eradicate *Pseudomonas aeruginosa* contamination. *Journal of Hospital Infection*, 60(3), 235-239. doi:10.1016/j.jhin.2004.11.023
- Walker, J. T., Jhutti, A., Parks, S., Willis, C., Copley, V., Turton, J. F., . . . Bennett, A. M. (2014). Investigation of healthcare-acquired infections associated with *Pseudomonas aeruginosa* biofilms in taps in neonatal units in Northern Ireland *Journal of Hospital Infection*, 86(1), 16-23.
- Wang, H., Edwards, M., Falkinham III, J. O., & Pruden, A. (2012). Molecular survey of the occurrence of *Legionella* spp., *Mycobacterium* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, and *Amoeba* hosts in two chloraminated drinking water distribution systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(17), 6285-6294.
- Weinstein, R. A., Gaynes, R., Edwards, J. R., & System, N. N. I. S. (2005). Overview of Nosocomial Infections Caused by Gram-Negative Bacilli. *Clinical Infectious Diseases*, 41(6), 848-854. doi:10.1086/432803
- Williams, M. M., Armbruster, C. R., & Arduino, M. J. (2013). Plumbing of hospital premises is a reservoir for opportunistically pathogenic microorganisms: a review. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, 29(2), 147-162. doi:10.1080/08927014.2012.757308

- Wingender, J., & Flemming, H. C. (2011). Biofilms in drinking water and their role as reservoir for pathogens. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(6), 417-423. doi:10.1016/j.ijheh.2011.05.009
- Wisplinghoff, H., Bischoff, T., Tallent, S. M., Seifert, H., Wenzel, R. P., & Edmond, M. B. (2004). Nosocomial Bloodstream Infections in US Hospitals: Analysis of 24,179 Cases from a Prospective Nationwide Surveillance Study. *Clinical Infectious Diseases*, 39(3), 309-317.
- World Health Organisation (WHO). (2014). *Water safety in distribution systems*. Geneva, Switzerland: Who Document Production Service.
- World Health Organization (WHO). (2004). *Guidelines for drinking water-quality. Third Edition (Volume 1). Recommendations*. Retrieved from Geneva, Switzerland: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf
- World Health Organization (WHO). (2011a). *Guidelines for drinking-water quality (Fourth Edition)*. Retrieved from Geneva, Switzerland: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/index.html
- World Health Organization (WHO). (2011b). *Water safety in buildings*.
- World Health Organization (WHO), & International Water Association (IWA) Publishing. (2004). *Safe piped water: managing microbial water quality in piped distribution systems*. Retrieved from London, United Kingdom: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/safepipedwater.pdf
- Yee, R. B., & Wadowsky, R. M. (1982). Multiplication of *Legionella pneumophila* in unsterilized tap water. *Applied and Environmental Microbiology*, 43(6), 1330-1334
- Yu, J., Kim, D., & Lee, T. (2010). Microbial diversity in biofilms on water distribution pipes of different materials. *Water Science and Technology*, 61(1), 163-171.
- Yu, Z., & Mohn, W. W. (1999). Killing two birds with one stone: simultaneous extraction of DNA and RNA from activated sludge biomass. *Canadian Journal of Microbiology*, 45(3), 269-272.